



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

***DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH
MEMPERTIMBANGKAN RUGI-RUGI TRANSMISI
MENGGUNAKAN QUADRATICALLY CONSTRAINED
QUADRATIC PROGRAM***

Kresna Bayu Ar-razi Arifin
NRP 0711144000049

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

***DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH
MEMPERTIMBANGKAN RUGI-RUGI TRANSMISI
MENGUNAKAN QUADRATICALLY CONSTRAINED
QUADRATIC PROGRAM***

Kresna Bayu Ar-razi Arifin
NRP 0711144000049

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH CONSIDERING
TRANSMISSION LOSSES USING QUADRATICALLY
CONSTRAINED QUADRATIC PROGRAM**

Kresna Bayu Ar-razi Arifin
NRP 0711144000049

Supervisors
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan “***Dynamic Economic Dispatch Mempertimbangkan Rugi-Rugi Transmisi Menggunakan Quadratically Constrained Quadratic Program***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 4 Juni 2018

Kresna Bayu Ar-razi Arifin
NRP 0711144000049

DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH
MEMPERTIMBANGKAN RUGI-RUGI TRANSMISI
MENGUNAKAN *QUADRATICALLY CONSTRAINED*
QUADRATIC PROGRAM

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. Rony S. Wibowo, ST., MT.

NIP. 19741129 200012 1 001

Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

NIP. 19650901 199103 2 002



Dynamic Economic Dispatch Mempertimbangkan Rugi-Rugi Transmisi Menggunakan Quadratically Constrained Quadratic Program

Nama Mahasiswa : Kresna Bayu Ar-razi Arifin
NRP : 07111440000049
Pembimbing I : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
NIP : 197411292000121001
Pembimbing II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
NIP : 196509011991032002

Abstrak

Optimasi pada pembangkitan energi listrik sangat diperlukan agar energi listrik yang dibangkitkan sesuai dengan kebutuhan yang ada. Salah satu cara optimasi adalah *Dynamic Economic Dispatch (DED)*. *DED* adalah pengoptimalan pembangkit listrik untuk memperoleh biaya pembangkitan minimal terhadap permintaan beban berdasarkan periode waktu dan beban tertentu. Salah satu faktor yang mempengaruhi pengoptimalan sistem tenaga listrik adalah rugi-rugi daya pada saluran transmisi. Rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat menyebabkan pembangkitan energi listrik harus lebih tinggi daripada permintaan beban untuk mengatasi daya yang hilang pada saluran transmisi, sehingga dapat meningkatkan biaya pembangkitan energi listrik pada sistem. Pada tugas akhir ini menggunakan metode *Quadratically Constrained Quadratic Program (QCQP)* untuk menghitung biaya minimum pembangkitan energi listrik terhadap permintaan beban dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dan menggunakan batasan *ramp rate* dari unit pembangkit.

Kata kunci: biaya pembangkitan, *Dynamic Economic Dispatch*, *Quadratically Constrained Quadratic Program*, *ramp rate*, rugi-rugi daya.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

Dynamic Economic Dispatch Considering Transmission Losses Using Quadratically Constrained Quadratic Program

Name : Kresna Bayu Ar-razi Arifin
NRP : 07111440000049
Supervisor I : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.
NIP : 197411292000121001
Supervisor II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
NIP : 196509011991032002

Abstract

Optimization of electrical energy generation is necessary for the electrical energy generated in accordance with the existing needs. One way of optimization is *Dynamic Economic Dispatch (DED)*. *DED* is an optimization of power plant to obtain minimal cost of generation on load demand based on certain time periods. One of the factors affecting the optimization of the electric power system is the power losses on the transmission line. Losses on the transmission line may cause the generation of electrical energy to be higher than the load demand to overcome the lost power on the transmission line, thereby increasing the cost of generating electrical energy in the system. In this final project, *Quadratically Constrained Quadratic Program (QCQP)* method is used to calculate the minimum generation cost to maintain load demand by considering transmission losses with *ramp rate* constraints of the generator.

Keywords: *Dynamic Economic Dispatch, generation cost, losses, Quadratically Constrained Quadratic Program, ramp rate.*

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini sebagai tugas akhir untuk menyelesaikan jenjang studi S1 pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya mahasiswa Teknik Elektro.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini saya mengucapkan terimakasih atas segala bantuan, bimbingan, cinta dan dukungan yang telah diberikan, kepada:

1. Bapak, Ibu, Kakak atas segala doa, dukungan, nasehat, dan segalanya.
2. Dr. Rony Seto Wibowo ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir Ir. Ni Ketut Aryani, MT, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan selama pengerjaan tugas akhir dan selama perkuliahan di Teknik Elektro.
3. Fakhruddin Wirakusuma atas waktu, dukungan dan ceritanya.
4. Mbak Fiona, Mas Dika, dan Mas Galih atas segala bimbingan dan bantuannya.
5. Simo, Yoga, Sakaw, Konci, Alfin, Amirul, Samid, Ujang, Jefri, Handi, Kaymal, Anang, Restu, dan Kamal sebagai teman penyemangat dalam proses pengerjaan.
6. Mas Satria, Barikh, Cokel, Burhan, Kris, Ayam, Helmy Acong, Trastian, Tika dan Nosa sebagai teman penghibur.
7. Amalul, Irsan, Eri, Saiful, Denny, Richard, dan Hanif yang telah meminjamkan kontrakannya.
8. Hery dan Rycho yang selalu membagikan ilmu yang dimilikinya.
9. Faris, Mas Nichal, Mas Bobby, Erick, Tony, Reza dan teman-teman kantin atas semangat dan dukungannya.
10. Wachid, Danny, Arif dan teman-teman SMA lainnya yang telah membantu masuk ke Teknik Elektro ITS
11. Teman teman e54, atas segala suka dan duka. *e54 Fight! Fight! Hidup Elektro ITS*
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu,

dengan tanpa mengurangi rasa terimakasih penulis.

Dalam menyusun tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk pengembangan penelitian dan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi	4
BAB 2 DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN RUGI-RUGI TRANSMISI MENGGUNAKAN QUADRATICALLY CONSTRAINED QUADRATIC PROGRAM.....	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.1.1 Pembangkitan	5

2.1.2 Transmisi dan Rugi-rugi Transmisi.....	6
2.1.3 Sistem Pembebanan.....	8
2.2 DC Power Flow	8
2.3 Economic Dispatch	8
2.4 Dynamic Economic Dispatch	10
2.5 Quadratically Constrained Quadratic Program.....	12
 BAB 3 QUADRATICALLY CONSTRAINED QUADRATIC PROGRAM DALAM DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH DENGAN MEMPERTIMBANGKAN RUGI- RUGI TRANSMISI.....	 15
3.1 Algoritma	15
3.2 Penerapan <i>Quadratically Constrained Quadratic Program</i> pada <i>MATLAB</i> Untuk Menyelesaikan Masalah <i>Dynamic Economic Dispatch</i>	17
3.2.1 <i>Quadratically Constrained Quadratic Program</i> pada <i>MATLAB</i>	17
3.2.2 Penerapan <i>Quadratically Constrained Quadratic Program</i> pada <i>Dynamic Economic Dispatch</i> dengan Mempertimbangkan Rugi-rugi Transmisi	19
3.2.2.1 Penyusunan Koefisien Fungsi Objektif.....	22
3.2.2.2 Penyusunan Koefisien Batasan Linier (Linear Constraints).....	23
3.2.2.3 Penyusunan Koefisien Batasan Kuadrat (Quadratic Constraints).....	26
 BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS.....	 31
4.1 Data Plan	31
4.1.1 Data Sistem IEEE 9 Bus.....	31

4.1.2 Data Sistem IEEE 30 Bus	32
4.2 Simulasi dan Analisis Sistem IEEE 9 Bus.....	34
4.2.1 <i>DC OPF</i> Menggunakan <i>Matpower</i>	35
4.2.2 Studi Kasus I	36
4.2.3 Studi Kasus II	37
4.2.4 Perbandingan Total Biaya	38
4.3 Simulasi dan Analisis Sistem IEEE 30 Bus.....	39
4.3.1 <i>DC OPF</i> Menggunakan <i>Matpower</i>	40
4.3.2 Studi Kasus I	41
4.3.3 Studi Kasus II	42
4.3.4 Perbandingan Total Biaya	44
BAB 5 PENUTUP	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	51
RIWAYAT HIDUP PENULIS	67

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem tenaga listrik.....	5
Gambar 2.2	Kurva Karakteristik Input-Output Pembangkit Termal	6
Gambar 3.1	Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir	15
Gambar 3.2	Sistem 3 Bus	19
Gambar 4.1	Profil Pembebanan Sistem IEEE 9 Bus	35
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Biaya Pembangkitan Perjam Sistem IEEE 9 Bus	38
Gambar 4.3	Grafik Perbedaan Total Biaya Sistem IEEE 9 Bus	39
Gambar 4.4	Profil Pembebanan Sistem IEEE 30 Bus	40
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Biaya Pembangkitan Perjam Sistem IEEE 30 Bus	44
Gambar 4.6	Grafik Perbedaan Total Biaya Sistem IEEE 30 Bus	45

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tipe Bus Sistem IEEE 9 Bus.....	31
Tabel 4.2	Data Saluran Sistem IEEE 9 Bus.....	31
Tabel 4.3	Data Generator Sistem IEEE 9 Bus.....	32
Tabel 4.4	Tipe Bus Sistem IEEE 30 Bus.....	32
Tabel 4.5	Data Saluran Sistem IEEE 30 Bus.....	33
Tabel 4.6	Data Generator Sistem IEEE 30 Bus.....	33
Tabel 4.7	Profil Pembebanan Sistem IEEE 9 Bus.....	34
Tabel 4.8	Hasil Simulasi <i>DC OPF</i> Sistem IEEE 9 Bus.....	35
Tabel 4.9	Hasil Simulasi Studi Kasus I Sistem IEEE 9 Bus.....	36
Tabel 4.10	Hasil Simulasi Studi Kasus II Sistem IEEE 9 Bus.....	37
Tabel 4.11	Profil Pembebanan Sistem IEEE 30 Bus.....	39
Tabel 4.12	Hasil Simulasi <i>DC OPF</i> Sistem IEEE 30 Bus.....	40
Tabel 4.13	Hasil Simulasi Studi Kasus 1 Sistem IEEE 30 Bus.....	41
Tabel 4.14	Hasil Simulasi Studi Kasus II Sistem IEEE 30 Bus.....	43

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ketersediaan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi dan batu bara setiap hari semakin menipis. Hal ini menjadi masalah bagi ketersediaan energi listrik. Mengingat pembangkit thermal berbahan bakar fosil masih menjadi sumber tenaga listrik yang utama di Indonesia. Saat ini seluruh masyarakat di dunia membutuhkan listrik sebagai penopang hidupnya. Optimasi tenaga listrik sangat dibutuhkan untuk dapat memanfaatkan energi listrik dengan optimal. Sehingga dibutuhkan regulasi baru untuk keamanan, kestabilan, dan operasi ekonomis dalam sistem tenaga listrik[1]. *Economic Dispatch* (ED) merupakan salah satu bentuk optimasi sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk memperoleh operasi pembangkitan yang ekonomis[2]. ED konvensional hanya dapat digunakan pada satu level beban[3]. *Dynamic Economic Dispatch* (DED) merupakan pengembangan dari ED konvensional, karena DED dapat digunakan pada level beban yang berubah-ubah.

Banyak faktor yang dapat menyebabkan sistem menjadi tidak optimal, salah satunya adalah rugi-rugi transmisi. Rugi-rugi transmisi timbul akibat penyaluran daya menuju beban pada saluran transmisi, sehingga daya yang akan diterima oleh beban akan berkurang. Oleh karena itu rugi-rugi transmisi harus diperhitungkan agar daya yang diterima oleh beban sesuai dengan kebutuhan daya beban. Banyak studi telah dilakukan untuk mendapatkan rugi-rugi transmisi yang akurat dan efisien pada penjadwalan pembangkitan[4]. Dalam *Dynamic Economic Dispatch* biasa ditemui fungsi dan batasan non linier. Oleh karena itu dibutuhkan pendekatan yang tepat dan akurat untuk dapat menyelesaikan *Dynamic Economic Dispatch*. Pada tugas akhir ini digunakan metode *Quadratically Constrained Quadratic Program* (QCQP) untuk menyelesaikan *Dynamic Economic Dispatch* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi.

Simulasi yang akan digunakan menggunakan *Toolbox OPTI* pada software MATLAB. Penggunaan OPTI disini untuk mempermudah perhitungan karena pada OPTI sudah terdapat toolbox optimasi *Quadratically Constrained Quadratic Program*

1.2. Permasalahan

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan seluruh komponen secara matematis
2. Bagaimana metode *Quadratically Constrained Quadratic Program* diterapkan dalam *Dynamic Economic Dispatch* yang mempertimbangkan rugi-rugi transmisi.
3. Apa pengaruh rugi-rugi transmisi pada biaya dan pembebanan unit pembangkit

1.3. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan penelitian ini, permasalahan di atas dibatasi sebagai berikut:

1. Rugi-rugi dimodelkan sesuai dengan referensi jurnal [4]
2. Simulasi yang digunakan dengan menggunakan Matlab
3. Ketersediaan bahan bakar tak terbatas
4. *Valve point effect*, dan *spinning reserve* diabaikan
5. Perhitungan *Unit Commitment* tidak disertakan
6. Sistem dalam keadaan stabil
7. Tidak memperhitungkan lokasi beban yang optimal.

1.4. Tujuan

Penulisan penelitian ini ditujukan untuk :

1. Mendapatkan daya pembangkitan tiap unit yang optimal pada operasi sistem.
2. Mengetahui besarnya rugi-rugi transmisi pada saluran transmisi sistem.
3. Mendapatkan biaya pembangkitan yang paling minimal pada operasi sistem.

1.5. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Dalam tugas akhir ini, studi literatur yang digunakan adalah mempelajari dan mencari referensi dari berbagai sumber seperti buku dan paper mengenai *Dynamic Economic Dispatch*, Rugi-rugi Transmisi, dan *Quadratically Constrained Quadratic Program*. Fungsi dari studi literatur ini adalah sebagai alat bantu

dalam pengerjaan penelitian serta mendukung analisis-analisis dalam penelitian ini secara teoritis.

2. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan meliputi parameter pembangkit, data impedansi saluran, data bus, dan biaya pembangkitan tiap pembangkit..

3. Pemodelan Sistem

Penulis melakukan pembuatan program dalam software *MATLAB* serta penerapan *Quadratically Constrained Quadratic Program* pada *Dynamic Economic Dispatch* yang mempertimbangkan rugi-rugi transmisi

4. Simulasi dan Analisis Data

Data yang diperoleh akan disimulasikan menggunakan *MATLAB* dengan tujuan memperoleh hasil yang optimal dengan metode *Quadratically Constrained Quadratic Program*.

5. Penyusunan Laporan

Penulisan hasil penelitian ini merupakan kesimpulan dari alur metodologi yang telah dilakukan. Kesimpulan dari penelitian ini merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Selain itu juga terdapat saran yang nantinya digunakan sebagai masukan dengan apa yang telah dilakukan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri atas lima bab, dengan uraian sebagai berikut:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bagian ini membahas dasar-dasar penyusunan penelitian ini meliputi latar belakang, permasalahan yang diangkat, tujuan yang diharapkan, batasan masalah, metodologi pembuatan penelitian, sistematika dan relevansi penyusunan laporan penelitian ini.

BAB 2 : DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH MEMPERTIMBANGKAN RUGI-RUGI TRANSMISI MENGUNAKAN QUADRATICALLY CONSTRAINED QUADRATIC PROGRAM

Bagian ini membahas teori-teori penunjang yang melandasi proses pengerjaan penelitian diantaranya penjelasan mengenai

Dynamic Economic Dispatch , rugi-rugi transmisi, dan *Quadratically Constrained Quadratic Program*.

BAB 3 : QUADRATICALLY CONSTRAINED QUADRATIC PROGRAM DALAM DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH DENGAN MEMPERTIMBANGKAN RUGI-RUGI TRANSMISI

Bagian ini menjelaskan mengenai penerapan *Quadratically Constrained Quadratic Program* pada permasalahan *Dynamic Economic Dispatch* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi.

BAB 4 : SIMULASI DAN ANALISIS

Bagian ini membahas mengenai hasil simulasi yang didapatkan dari proses optimisasi permasalahan *Dynamic Economic Dispatch* mempertimbangkan rugi-rugi transmisi menggunakan *Quadratically Constrained Quadratic Program*.

BAB 5 : PENUTUP

Bagian ini membahas kesimpulan yang dapat diambil dari pemodelan, simulasi dan perhitungan penelitian. Selain itu juga dilampirkan saran yang diharapkan mampu memberikan perbaikan serta penyempurnaan terkait keberlanjutan penelitian ini.

1.7. Relevansi

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan daya listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit-pembangkit tersebar dengan biaya yang minimal.
2. Dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk penelitian.
3. Dapat dijadikan referensi penelitian untuk mengembangkan metode optimasi yang lebih handal.

BAB 2

DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH

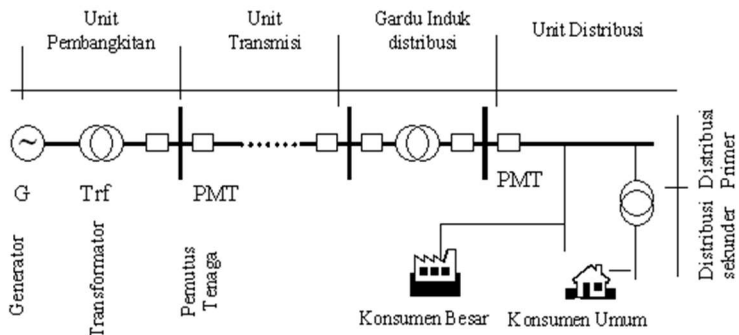
MEMPERTIMBANGKAN RUGI-RUGI TRANSMISI

MENGUNAKAN *QUADRATICALLY CONSTRAINED*

QUADRATIC PROGRAM

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik digunakan oleh industri maupun masyarakat perorangan, oleh karena itu diperlukan suatu sistem untuk dapat memanfaatkan tenaga listrik dengan baik. Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian yaitu pembangkitan, transmisi(penyaluran), distribusi, dan pelanggan(beban)[5]. Pembangkitan berfungsi untuk membangkitkan daya listrik dari unit-unit pembangkitan yang ada, transmisi dan distribusi berfungsi untuk menyalurkan daya listrik ke permintaan pelanggan(beban). Secara umum, sistem tenaga listrik dapat diilustrasikan oleh gambar berikut ini:

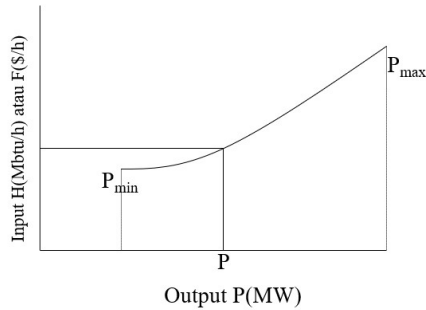


Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik

2.1.1. Pembangkitan

Unit pembangkit atau yang biasa disebut dengan generator merupakan komponen yang sangat menentukan suatu sistem pembangkit. Saat ini di Indonesia jenis pembangkit yang paling sering digunakan adalah pembangkit termal. Pembangkit termal adalah pembangkit yang menghasilkan energi listrik dari energi termal(panas). Pembangkit termal

memiliki karakteristik input (bahan bakar) dan output (daya) yang harus diperhatikan dalam pengoperasian sistem secara ekonomis.



Gambar 2.2 Kurva Karakteristik Input-Output Pembangkit Termal

Dari Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa laju perubahan input (bahan bakar) berbanding lurus dengan output(daya) dari pembangkit unit termal. Input dari kurva karakteristik tersebut dapat berupa energi panas (H) yang dibutuhkan dalam Mbtu/h atau berupa total biaya operasi per jamnya (F) dalam \$/h. Kurva tersebut merupakan kurva non linier dengan fungsi kuadrat, dari kurva tersebut biaya operasi unit pembangkit dimodelkan dalam fungsi kuadrat sebagai berikut :

$$F_h(P_h) = a_h P_h^2 + b_h P_h + c_h \quad (2.1)$$

Dimana:

F_h = biaya operasi pembangkit termal h (\$/h)

a_h, b_h, c_h = koefisien pembangkit termal h

P_h = daya yang dibangkitkan pembangkit termal h (MW)

2.1.2. Transmisi dan Rugi-rugi Transmisi[4]

Transmisi dalam sistem tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit hingga saluran distribusi, sehingga listrik dapat tersalurkan kepada pelanggan (beban). Tegangan yang berasal dari pembangkit akan dinaikkan terlebih dahulu menggunakan trafo *step-up* dan akan diturunkan kembali menggunakan trafo *step-down* jika akan disalurkan menuju saluran distribusi. Dalam penyalurannya, transmisi tenaga listrik menggunakan saluran transmisi yang berupa kabel. Aliran daya pada saluran transmisi dapat dinyatakan:

$$P_{ij} = V_i^2 g_{ij} - V_i V_j [g_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + b_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)] \quad (2.2)$$

Dimana ,

- P_{ij} = Aliran daya aktif pada saluran antara bus i menuju bus j (p.u)
- V_i, V_j = Magnitudo tegangan pada bus i dan bus j (p.u)
- θ_i, θ_j = Sudut tegangan pada bus i dan bus j (radian)
- g_{ij} = konduktansi ij (p.u)
- b_{ij} = Subseptansi saluran ij (p.u)

Daya listrik yang disalurkan melalui saluran transmisi mengalami rugi daya, hal ini disebabkan karena saluran transmisi mempunyai tahanan, induktansi dan kapasitansi. Rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat dinyatakan:

$$P_{lij} = P_{ij} + P_{ji} \quad (2.3)$$

Dimana,

- P_{lij} = Rugi daya pada saluran antara bus i menuju bus j (p.u)
- P_{ij} = Aliran daya aktif pada saluran antara bus i menuju bus j (p.u)
- P_{ji} = Aliran daya aktif pada saluran antara bus j menuju bus i (p.u)

Dalam penelitian ini, dilakukan penyederhanaan pada (2.2) dan (2.3), dimana pada operasi normal saluran transmisi tegangan tinggi, perbedaan sudut fasa sangatlah kecil[4], sehingga nilai $\sin(\theta_i - \theta_j) = 0$, sehingga:

$$P_{lij} = (V_i^2 + V_j^2)g_{ij} - 2V_i V_j g_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) \quad (2.4)$$

Pada operasi normal tegangan tinggi, nilai tegangan dari bus medekati 1 p.u [4]

$$P_{lij} = 2g_{ij} - 2g_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) \quad (2.5)$$

Karena perbedaan sudut fasa sangatlah kecil, dapat dilakukan pendekatan menggunakan deret taylor pada fungsi cosinus:

$$\cos(\theta_i - \theta_j) \approx 1 - 0.5(\theta_i - \theta_j)^2 \quad (2.6)$$

Sehingga jika dilakukan substitusi (2.6) kedalam (2.5) menjadi

$$P_{lij} \approx g_{ij}(\theta_i - \theta_j)^2 \quad (2.7)$$

2.1.3. Sistem Pembebanan

Beban pada sistem tenaga dibagi menjadi beberapa kawasan yaitu kawasan industri, komersial, dan residensial. Besarnya permintaan beban bersifat dinamis atau berubah-ubah setiap waktunya, permintaan beban pada satu hari (24 jam) dapat berubah-ubah tiap jamnya.

Dalam kondisi nyata, permintaan beban mengalami kondisi maksimal pada malam hari dimana konsumsi daya listrik mengalami puncaknya. Hal tersebut cenderung lebih tinggi dibandingkan permintaan daya pada saat pagi, siang atau sore hari[6]. Permintaan yang tinggi tersebut mengharuskan pembangkit tenaga listrik bekerja secara maksimal untuk dapat menyuplai daya listrik di saat itu. Masing-masing beban dipenuhi oleh pembangkit yang mempunyai karakteristik yang berbeda-beda, dan hal itu sesuai untuk memenuhi keluaran beban yang diminta. Besar keluaran beban yang besar juga berbanding lurus dengan biaya operasi yang tinggi ditinjau dari biaya bahan bakar dari masing-masing pembangkitan.

2.2 DC Power Flow [7]

DC power flow merupakan penyederhanaan dari sistem *AC power flow*. Sistem *DC power flow* hanya memperhitungkan daya aktif, sedangkan daya reaktif diabaikan[7]. Selain itu diasumsikan nilai dari magnitude tegangan $|V_i| = 1.0$ p.u. Aliran daya pada setiap saluran pada metode *DC power flow* ini adalah,

$$P_{ij} = \frac{1}{x_{ij}} (\theta_i - \theta_j) \quad (2.8)$$

dan daya pada setiap bus i adalah,

$$P_i = \sum_j^N P_{ij} = \sum_k^N \frac{1}{x_{ik}} (\theta_i - \theta_k) \quad (2.9)$$

Dimana :

P_i = daya pada bus i (p.u)

x_{ij} = reaktansi saluran ij (p.u)

2.3 Economic Dispatch

Economic Dispatch atau pembebanan ekonomis merupakan pembagian pembebanan daya yang harus dibangkitkan oleh unit pembangkit dalam

suatu sistem tenaga listrik sehingga dapat memenuhi kebutuhan beban dengan biaya minimum, yang sesuai dengan nilai permintaan beban sistem. Dengan penerapan *economic dispatch*, akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum terhadap produksi daya listrik yang dibangkitkan oleh unit-unit pembangkit pada suatu sistem tenaga listrik yang memenuhi batasan persamaan (*equality constraint*) dan batasan pertidaksamaan (*inequality constraint*). Tiap pembangkit memiliki karakteristik yang berbeda-beda sehingga berpengaruh pada fungsi kebutuhan dan biaya bahan bakarnya. Perbedaan karakteristik itu dipengaruhi oleh jenis bahan bakar dan efisiensi dari pembangkit.

Economic dispatch bertujuan untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar dari pembangkit pada keseluruhan sistem dengan menentukan porsi pembebanan dari tiap tiap pembangkit. Penentuan pembebanan ini sangat penting karena bahan bakar adalah faktor yang paling banyak berpengaruh terhadap sedikit banyaknya biaya pembangkitan dalam suatu sistem tenaga listrik.

Cost function dari h -unit pembangkit dimodelkan dengan persamaan:

$$F_h(P_h) = a_h P_h^2 + b_h P_h + c_h \quad (2.10)$$

Dimana :

F_h = biaya operasi pembangkit h (\$/h)
 a_h , b_h , dan c_h = koefisien pembangkit h
 P_h = daya yang dibangkitkan pembangkit h (MW)

Fungsi objektif dari *economic dispatch* dimodelkan dengan persamaan:

$$F_{Total} = \min \sum_{h=1}^N F_h(P_h) \quad (2.11)$$

Dimana :

F_{Total} = total biaya operasi pembangkitan sistem (\$/h)
 N = jumlah unit pembangkit dalam sistem

Setiap pembangkit memiliki karakteristik dan kapasitas yang berbeda-beda. Pembangkit tidak dapat membangkitkan daya listrik yang tidak sesuai dengan kapasitas pembangkitannya. Pembangkit memiliki batas maksimum dan minimum pembangkitan dayanya. Daya yang akan dibangkitkan oleh pembangkit tidak dapat lebih dari batas daya

maksimum daya dari unit pembangkit serta tidak boleh kurang dari batas daya minimum dari unit pembangkit tersebut, dijabarkan sebagai berikut:

$$P_{h,min} \leq P_h \leq P_{h,maks} \quad (2.12)$$

Untuk kondisi pembangkitan daya listrik yang sesuai, dibutuhkan adanya batasan keseimbangan daya. Keseimbangan daya adalah dimana jumlah daya yang dibangkitkan oleh unit-unit pembangkit harus sama dengan jumlah daya yang dibutuhkan oleh sistem. Daya yang dibutuhkan oleh sistem meliputi permintaan beban dan rugi-rugi daya. Rugi-rugi daya diperhitungkan agar daya yang diterima oleh beban sesuai dengan permintaan. Batasan ini bertujuan agar tidak timbulnya daya yang akan terbuang percuma oleh daya yang dibangkitkan oleh unit-unit pembangkit

$$\sum P_h = P_D + P_l \quad (2.13)$$

Dimana :

P_D = total permintaan beban (MW)

P_l = rugi-rugi daya (MW)

2.4 Dynamic Economic Dispatch

Dynamic economic dispatch merupakan pengembangan dari *economic dispatch*. *Dynamic economic dispatch* adalah pembagian pembebanan daya yang harus dibangkitkan oleh unit pembangkit dalam suatu sistem tenaga listrik sehingga dapat memenuhi kebutuhan beban dengan biaya minimum dalam rentang periode waktu tertentu. Nilai permintaan beban pada suatu sistem tenaga listrik selalu berubah-ubah (dinamis) setiap periode waktu tertentu, oleh karena itu untuk mensuplai beban secara ekonomis pada tiap periode waktu- t untuk setiap h -unit generator, perhitungan optimisasi *dynamic economic dispatch* dilakukan.

Pada penelitian ini, *dynamic economic dispatch* digunakan untuk menentukan besar daya pembangkitan optimum dari unit-unit pembangkit thermal agar tercapai biaya pembangkitan yang minimal. Penentuan daya pembangkitan pada setiap generator harus memenuhi batas-batas (*constraints*) yang ada. *Cost function* dari h -unit generator dalam periode waktu- t dimodelkan dengan persamaan:

$$F_{ht}(P_{ht}) = a_h P_{ht}^2 + b_h P_{ht} + c_h \quad (2.14)$$

Dimana :

F_{ht} = biaya operasi pembangkit h pada periode waktu t
(\$/h)

a_h , b_h , dan c_h = koefisien pembangkit h

P_{ht} = daya yang dibangkitkan pembangkit h pada periode waktu t (MW)

Fungsi objektif dari *dynamic economic dispatch* dimodelkan dengan persamaan :

$$F_{Total} = \min \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^N F_{ht}(P_{ht}) \quad (2.15)$$

Dimana :

F_{Total} = total biaya operasi pembangkitan sistem selama periode waktu t (\$/h)

N = jumlah unit pembangkit dalam sistem

T = periode waktu sistem bekerja (h)

Dalam *dynamic economic dispatch*, kapasitas maksimum dan minimum daya yang dapat dibangkitkan oleh unit pembangkit sama dengan kapasitas yang ada pada *economic dispatch*. Selain batas kapasitas maksimum dan minimum, unit pembangkit dalam *dynamic economic dispatch* juga dibatasi dengan *ramp rate* setiap unit pembangkit. *Ramp rate* adalah batas penambahan dan pengurangan daya yang dapat dibangkitkan unit pembangkit dalam satu interval waktu tertentu. Batasan *ramp rate* dalam *dynamic economic dispatch* dapat dimodelkan dalam persamaan berikut :

$$DR_h \leq P_{ht} - P_{ht-1} \leq UR_h \quad (2.16)$$

Dimana :

DR_h = batas pengurangan daya pembangkitan dari unit pembangkit h (MW)

UR_h = batas penambahan daya pembangkitan dari unit pembangkit h (MW)

Permintaan beban dalam *dynamic economic dispatch* bersifat dinamis atau berubah-ubah setiap waktunya hal ini juga mengakibatkan rugi-rugi daya pada sistem juga berubah. Sehingga daya yang dibutuhkan oleh sistem pada setiap waktu berbeda-beda, maka dari itu batasan keseimbangan daya juga berubah setiap waktunya. Batasan

keseimbangan daya pada *dynamic economic dispatch* dapat dimodelkan sebagai berikut :

$$\sum P_{ht} = P_{Dt} + P_{lt} \quad (2.17)$$

Dimana:

P_{Dt} = total permintaan beban pada periode waktu t (MW)

P_{lt} = total rugi-rugi daya pada periode waktu t (MW)

2.5 *Quadratically Constrained Quadratic Program*

Linear programming merupakan sebuah model yang sangat handal untuk digunakan dalam analisa berbagai permasalahan sains, industry, *engineering*, dan bisnis. Namun, model ini memiliki keterbatasan karena tidak semua permasalahan berbentuk linier. Selain itu, model linier hanya memberikan hasil terbaik pada permasalahan dengan orde pertama. Model yang berada satu tingkat diatas model ini adalah *quadratic programming*. *Quadratic programming* menyelesaikan permasalahan non linier dan memodelkannya ke dalam sebuah fungsi objektif. *Quadratic programming* adalah salah satu metode optimisasi yang secara khusus digunakan untuk mengoptimalkan (meminimalkan atau memaksimalkan) masalah fungsi kuadrat dari beberapa variabel yang bergantung pada batasan linier pada variabel-variabel yang ditentukan.

Permasalahan optimisasi linier yang dibatasi dengan fungsi objektif kuadrat disebut *quadratic programming*. Karena dapat diaplikasikan pada berbagai bidang, *quadratic programming* sering dipandang sebagai suatu disiplin ilmu tersendiri. Selain itu, *quadratic programming* juga membentuk dasar dari beberapa algoritma pemrograman umum non linier lain.

Quadratically Constrained Quadratic Program merupakan pengembangan dari *Quadratic programming*. Dimana pada *Quadratically Constrained Quadratic Program* batasan-batasan (constraint) tidak hanya berupa batasan linier namun juga dapat berupa batasan kuadrat (*Quadratic Constraint*)

Fungsi objektif dari *Quadratically Constrained Quadratic program* dimodelkan dalam sebuah persamaan berikut:

$$F(x) = f + c^T x + \frac{1}{2} x^T H x \quad (2.18)$$

Batasan (constraints) linier dari *Quadratically Constrained Quadratic Program* dimodelkan sebagai berikut :

$$lb \leq Ax \leq Ub \quad (2.19)$$

$$xmin \leq x \leq xmax \quad (2.20)$$

Sedangkan untuk batasan kuadrat (*quadratic constraints*) dimodelkan sebagai berikut:

$$rl \leq l^T x + x^T Q x \leq ru \quad (2.21)$$

Dimana :

- f = konstanta skalar
- c = konstanta matriks n -vektor
- H = matriks $n \times n$
- A = matriks $m \times n$
- ub, lb = konstanta m -vektor
- Q = matriks $n \times n$
- l = matriks $k \times n$
- rl, ru = konstanta, k -vektor
- x = n -vektor yang nilainya akan dioptimasi

Batasan (constraints) linier dalam *quadratically constrained quadratic program* biasanya dikelompokkan menjadi *equality linear constraint* dan *inequality linear constraint*. Dapat diuraikan sebagai berikut :

Equality linear constraint

Set nilai $lb = ub = beq$

Maka :

$$beq \leq Ax \leq beq \quad (2.22)$$

$$Ax = beq \quad (2.23)$$

Inequality linear constraint

Set nilai $lb \leq ub$

Maka :

$$lb \leq Ax \leq ub \quad (2.24)$$

Set nilai $lb = -\infty$

Maka :

$$-\infty \leq Ax \leq ub \quad (2.25)$$

$$Ax \leq ub \quad (2.26)$$

Set nilai $ub = \infty$

Maka :

$$lb \leq Ax \leq \infty \quad (2.27)$$

$$Ax \geq lb \quad (2.28)$$

Batasan (constraints) kuadrat dalam *quadratically constrained quadratic program* juga dapat dikelompokkan menjadi *equality quadratic constraint* dan *inequality quadratic constraint*. Dapat diuraikan sebagai berikut:

Equality quadratic constraint

Set nilai $rl = ru = req$

Maka :

$$req \leq l^T x + x^T Q x \leq req \quad (2.29)$$

$$l^T x + x^T Q x = req \quad (2.30)$$

Inequality quadratic constraint

Set nilai $rl \leq ru$

Maka :

$$lb \leq Ax \leq ub \quad (2.31)$$

Set nilai $rl = -\infty$

Maka :

$$-\infty \leq l^T x + x^T Q x \leq ru \quad (2.32)$$

$$l^T x + x^T Q x \leq ru \quad (2.33)$$

Set nilai $ru = \infty$

Maka :

$$rl \leq l^T x + x^T Q x \leq \infty \quad (2.34)$$

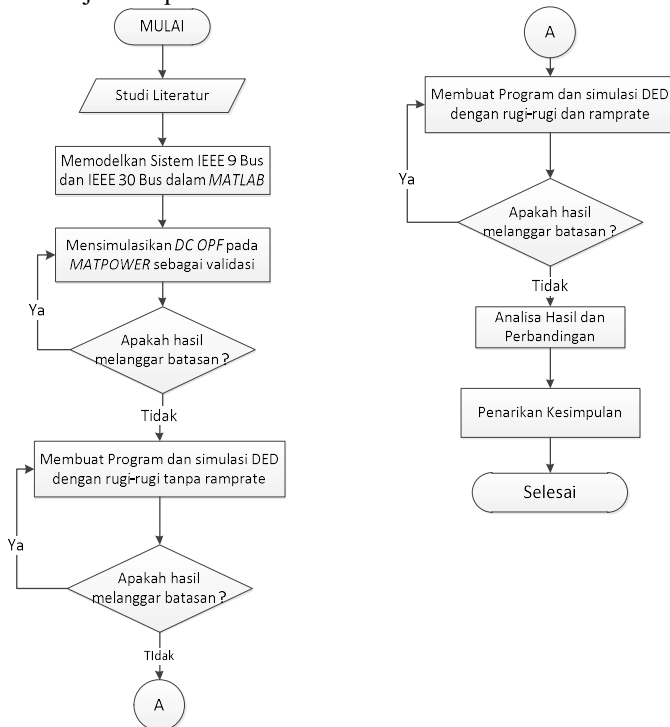
$$l^T x + x^T Q x \geq rl \quad (2.35)$$

BAB 3

QUADRATICALLY CONSTRAINED QUADRATIC PROGRAM DALAM DYNAMIC ECONOMIC DISPATCH DENGAN MEMPERTIMBANGKAN RUGI-RUGI TRANSMISI

3.1. Algoritma

Pada penelitian ini, *Dynamic Economic Dispatch* diselesaikan menggunakan metode *Quadratically Constrained Quadratic Program* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi. Pemodelan sistem dan simulasi dilakukan menggunakan *Toolbox OPTI* pada *software MATLAB*. Diagram alir dari algoritma yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**



Gambar 3.1 Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir

Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan studi literatur. Studi literatur dilakukan untuk mengetahui konsep dari *Dynamic Economic Dispatch*, rugi-rugi transmisi serta *quadratically constrained quadratic program*. Dari studi literatur yang telah dilakukan, didapatkan data parameter yang diperlukan yaitu *cost function* unit pembangkit, kapasitas daya maksimum dan minimum unit pembangkit, *ramp rate*, data saluran, serta data beban. Data-data tersebut diimplementasikan dalam sistem IEEE 9 Bus dan sistem IEEE 30 Bus, sistem tersebut dimodelkan dalam software *MATLAB*. Langkah selanjutnya adalah mensimulasikan *DC OPF* sistem IEEE 9 Bus dan IEEE 30 Bus pada *MATPOWER* tanpa mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dan tidak menggunakan batasan *ramp-rate* dari unit pembangkit. Hasil simulasi ini akan digunakan untuk validasi dari program *DED* yang akan dibuat nantinya. Profil pembebanan pada simulasi validasi juga akan digunakan pada studi kasus yang ada nantinya, sehingga hasil simulasi validasi akan digunakan sebagai pembandingan hasil simulasi dari studi kasus yang ada. Langkah selanjutnya adalah membuat program *DED* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi, program ini akan digunakan untuk simulasi dan analisa pada studi kasus yang ada

Studi kasus pertama yaitu *DED* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi tanpa menggunakan batasan *ramp rate* pada unit pembangkit. Simulasi studi kasus ini diimplementasikan pada sistem IEEE 9 Bus dan IEEE 30 Bus dengan profil pembebanan sistem yang telah dimodelkan sebelumnya. Hasil dari studi kasus ini adalah total biaya pembangkitan yang paling minimal.

Studi kasus kedua yaitu *DED* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dan *ramp rate* dari unit pembangkit. Simulasi pada studi kasus ini juga diimplementasikan pada sistem dan profil pembebanan yang sama dengan studi kasus pertama. Sama seperti studi kasus pertama, hasil dari studi kasus ini adalah total biaya pembangkitan yang paling minimal.

Setelah didapatkan hasil pada setiap studi kasus, maka akan dilakukan analisa dan perbandingan dengan hasil dari simulasi validasi yang telah didapatkan sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari rugi-rugi transmisi dan *ramp rate* dari unit pembangkit terhadap total biaya pembangkitan pada sistem. Setelah didapat hasil dari analisa dan perbandingan maka akan didapatkan juga penarikan kesimpulan dari keseluruhan proses.

3.2 Penerapan *Quadratically Constrained Quadratic Program* pada *MATLAB* Untuk Menyelesaikan Masalah *Dynamic Economic Dispatch*.

3.2.1 *Quadratically Constrained Quadratic Program* pada *MATLAB*

Untuk menyelesaikan permasalahan *Quadratic Constrained Quadratic Program* (QCQP) pada *MATLAB* digunakan *OPTI Toolbox*. Pada Toolbox ini, masalah *QCQP* diselesaikan menggunakan fungsi *Quadratic Programming* dengan fungsi kuadrat sebagai salah satu batasannya. Berikut adalah variabel input-output pada *QCQP*.

1. **H** adalah matriks simetris yang berisi koefisien kuadrat dan bilinear dari fungsi objektif. Pada *economic dispatch*, matriks **H** berisi koefisien kuadrat dari fungsi biaya pembangkitan yang diminimalkan.
2. **f** adalah vektor baris yang berisi koefisien linear dari fungsi objektif. Pada *dynamic economic dispatch*, vektor **f** adalah koefisien linear dari fungsi biaya pembangkitan.
3. **A** adalah matriks yang berisi koefisien linear dari *linear constraints*.
4. **lb** dan **ub** adalah vektor kolom yang berisi konstanta dari *linear constraints* sebagai batas atas dan batas bawah dari fungsi batasan.
5. **Q** adalah matriks simetris yang berisi koefisien kuadrat dari *quadratic constraints*
6. **l** adalah vektor kolom yang berisi koefisien linear dari *quadratic constraints*
7. **r** adalah skalar yang menyatakan konstanta dari *quadratic constraints*. Apabila *quadratic constraints* memiliki batas atas dan batas bawah, maka skalar **qrl** (batas bawah) dan **qru** (batas atas) menggantikan skalar **r**.
8. **xmin** dan **xmax** adalah vektor kolom dari batas bawah dan batas atas untuk menentukan variabel **x**.

Variabel-variabel input diatas akan diproses sehingga menghasilkan variabel-variabel output sebagai berikut :

1. **x** merupakan matriks yang berisi variabel hasil optimasi. Pada *economic dispatch*, **x** terdiri dari sudut tegangan masing-masing bus, daya aktif yang dibangkitkan oleh masing-masing generator serta aliran daya aktif pada setiap saluran.

2. **fval** merupakan nilai total hasil fungsi objektif yang telah dioptimasi. Pada *dynamic economic dispatch*, **fval** menunjukkan total nilai biaya pembangkitan dari seluruh unit pembangkit yang minimum
3. **exitflag** merupakan kode yang digunakan untuk menunjukkan status dari proses optimasi. **Exitflag** bernilai 1 menunjukkan bahwa hasil optimasi konvergen sedangkan exitflag 0 menunjukkan hasil optimasi tidak konvergen.
4. **info** merupakan informasi tambahan yang menunjukkan detail dari proses optimasi. **info** berisi jenis solver yang digunakan, lama waktu optimasi, dan informasi lain mengenai proses optimasi.

Dalam proses mengoptimasi variabel-variabel tersebut, terdapat 2 fungsi yang berperan yaitu fungsi **opti** dan fungsi **solve**. Fungsi **opti** digunakan untuk membuat *OPTI Object* yang mendefinisikan variabel-variabel input. Sedangkan fungsi **solve** digunakan untuk menyelesaikan variabel-variabel dari permasalahan yang telah didefinisikan oleh fungsi **opti**. Selain itu, diperlukan perintah (*sintaks*) yang berfungsi memanggil fungsi **opti** dan **solve** untuk menjalankan proses optimasi. Untuk memecahkan masalah *QCQP*, terdapat beberapa variasi model *sintaks* yang dapat digunakan. Penggunaan model sintaks tersebut disesuaikan dengan permasalahan dan batasan yang ingin diselesaikan.

Berikut adalah beberapa model sintaks untuk fungsi **opti** yang tersedia pada *OPTI Toolbox* :

1. $Opt = opti('qp', H, f)$
Sintaks ini mendefinisikan variabel input dengan fungsi objektif $\min \frac{1}{2} x^T H x + f^T x$ yang biasa digunakan dalam *quadratic programming*.
2. $Opt = opt('qp', H, f, 'lin', A, lb, ub)$
Sintaks ini mendefinisikan variabel input seperti yang disebutkan sebelumnya namun dengan *linear constraints* berbentuk $lb \leq Ax \leq ub$.
3. $Opt = opt('qp', H, f, 'lin', A, l, u, 'bounds', xmin, xmax)$
Sintaks ini mendefinisikan variabel input dan *constraints* seperti sebelumnya namun dengan tambahan batas atas dan batas bawah dari variabel input.
4. $Opt = opt('qp', H, f, 'lin', A, l, u, 'bounds', xmin, xmax, 'qcrow', Q, l, qrl, qru)$

Sintaks ini mendefinisikan variabel input dan *constraints* seperti sebelumnya namun dengan *quadratic constraints* berbentuk $qrl \leq x^T Qx + l^T x \leq qru$

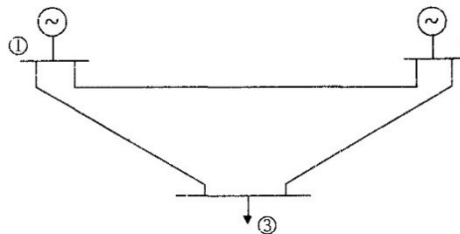
Sedangkan penyelesaian permasalahan tersebut dilakukan dengan fungsi **solve** yang dapat dituliskan dengan *sintaks* :

$[x, fval, exitflag, info] = solve(Opt)$

Fungsi di atas akan menyelesaikan permasalahan yang telah dibangun pada variabel **Opt** dan menampilkan variabel output hasil optimasi berupa **x**, **fval**, **exitflag**, serta **info**.

3.2.2 Penerapan *Quadratically Constrained Quadratic Program* pada *Dynamic Economic Dispatch* dengan Mempertimbangkan Rugi-rugi Transmisi

Untuk menyederhanakan permasalahan, sebuah sistem 3 bus sederhana di bawah ini akan digunakan sebagai contoh implementasi *QCQP* pada permasalahan *DED* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi.



Gambar 3.2 Sistem 3 Bus

Variabel-variabel yang akan dioptimasi dan dicari nilainya pada *DED* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi meliputi daya keluaran unit pembangkit, sudut tegangan bus serta daya aktif pada saluran transmisi. Variabel-variabel tersebut akan disusun menjadi variabel x . Variabel x dapat dituliskan dengan matriks x^1 . Untuk sistem 3 bus seperti diatas dengan $t=2$ dapat dituliskan dengan matriks x^2 .

$$x^1 = \begin{bmatrix} P_{G1} \\ \vdots \\ P_{Gng} \\ \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_{nb} \\ P_{lij} \\ \vdots \\ P_{lijnl} \\ P_{lji} \\ \vdots \\ P_{ljint} \end{bmatrix}, \quad x^2 = \begin{bmatrix} P_{G1}^1 \\ P_{G2}^1 \\ \theta_1^1 \\ \theta_2^1 \\ \theta_3^1 \\ P_{l12}^1 \\ P_{l13}^1 \\ P_{l23}^1 \\ P_{l21}^1 \\ P_{l31}^1 \\ P_{l3}^1 \\ P_{G1}^2 \\ P_{G2}^2 \\ \theta_1^2 \\ \theta_2^2 \\ \theta_3^2 \\ P_{l12}^2 \\ P_{l13}^2 \\ P_{l23}^2 \\ P_{l21}^2 \\ P_{l3}^2 \\ P_{l32}^2 \end{bmatrix}$$

Nilai fungsi objektif sebagai fungsi kuadratik yang berasal dari koefisien biaya tiap pembangkit akan diproses oleh *quadratically constrained quadratic program* dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T \left(\sum_{G=1}^n \left(a_G^t P_G^{t^2} + b_G^t P_G^t + c_G^t \right) \right) \quad (3.1)$$

Dimana :

a , b , dan c : koefisien biaya generator
 P_G^t : daya yang dibangkitkan pembangkit h pada periode waktu t (MW)

Fungsi objektif tersebut dibatasi oleh batasan-batasan (*constraints*) sebagai berikut :

- **Linear Equality Constraints**

Active Power Balance

$$P_{Di}^t - P_{Gi}^t + P_{lij}^t = 0 \quad (3.2)$$

DC Power Flow

$$\frac{P_{lij}^t - P_{lji}^t}{2} = \frac{1}{x_{ij}} [\theta_i^t - \theta_j^t] \quad (3.3)$$

Dimana :

P_{lij} : Daya yang mengalir pada saluran dari bus i ke bus j ,

P_{Di} : Daya pada load bus i

P_{Gi} : Daya pembangkitan generator pada bus i

θ : Sudut tegangan

x : Reaktansi saluran

Slack Bus

$$\theta_{slack} = 0 \quad (3.4)$$

- **Linear Inequality Constraints**

Ramp Rate

$$-P_{RD_i} \leq P_{Gi}^t - P_{Gi}^{t-1} \leq P_{RU_i} \quad (3.5)$$

Daya Pembangkitan

$$P_{Gi \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi \max} \quad (3.6)$$

Kapasitas Saluran Transmisi

$$P_{lij \min} \leq \frac{P_{lij}^t - P_{lji}^t}{2} \leq P_{lij \max} \quad (3.7)$$

- **Quadratic Constraints**

Rugi-rugi transmisi

$$-P_{lij}^t - P_{lji}^t + g_{ij}(\theta_i^t - \theta_j^t)^2 = 0 \quad (3.8)$$

3.2.2.1 Penyusunan Koefisien Fungsi Objektif

Koefisien fungsi objektif yang dalam permasalahan *economic dispatch* merupakan fungsi biaya disusun ke dalam matriks **H** dan **f**. Matriks **H** merepresentasikan koefisien kuadrat sedangkan matriks **f** merepresentasikan koefisien linear dari fungsi biaya pembangkitan untuk masing-masing unit dalam periode *t*. dimensi matriks **H** dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{baris} = (\text{ngen} + \text{nbus} + 2 \times \text{nline}) \quad (3.9)$$

$$\text{kolom} = (\text{ngen} + \text{nbus} + 2 \times \text{nline}) \quad (3.10)$$

Sedangkan untuk dimensi matriks **f** dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{baris} = (\text{ngen} + \text{nbus} + 2 \times \text{nline}) \quad (3.11)$$

$$\text{kolom} = 1 \quad (3.12)$$

Dimana :

ngen = jumlah unit pembangkit dalam sistem

nbus = jumlah bus dalam sistem

nline = jumlah saluran transmisi dalam sistem

Untuk sistem 3 bus dengan 2 generator dan 3 saluran transmisi maka dimensi matriks **H** adalah 11x11 dan **f** adalah 11x1. Fungsi biaya pada sistem 3 bus dengan *t*=1 adalah sebagai berikut

$$F(P^1) = a_1^1 (P_{G_1}^1)^2 + b_1^1 P_{G_1}^1 + c_1^1 + a_2^1 (P_{G_2}^1)^2 + b_2^1 P_{G_2}^1 + c_2^1 \quad (3.13)$$

Sehingga koefisien persamaan tersebut dapat dituliskan dalam matriks **H** dan **f^T** sebagai :

$$\mathbf{H} = 2 \times \begin{bmatrix} a_1^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_2^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{f}^T = [b_1^1 \quad b_2^1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

Untuk t periode, matriks \mathbf{H} disusun secara diagonal sebanyak t kali. Sedangkan matrik \mathbf{f}^T disusun sebanyak t kali sebagai matriks baris. Sebagai contoh, penyusunan matriks \mathbf{H} dan \mathbf{f}^T untuk contoh di atas dengan periode $t = 2$ adalah

$$\mathbf{H} = \begin{array}{c|ccc|ccc} & & & & 0 & \dots & 0 \\ & & & & \vdots & & \vdots \\ & & & & 0 & \dots & 0 \\ \hline & 0 & \dots & 0 & & & \\ & \vdots & & \vdots & & & \\ & 0 & \dots & 0 & & & \\ \hline & & & & & & \mathbf{H}^2 \end{array}$$

$$\mathbf{f}^T = \begin{array}{|ccc|ccc|} \hline & & & \mathbf{f}^1 & & & \mathbf{f}^2 \\ \hline \end{array}$$

3.2.2.2 Penyusunan Koefisien Batasan Linier (*Linear Constraints*)

Persamaan *Active Power Balance* pada sistem 3 bus dengan periode $t=1$ adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} 0 - P_{G1}^1 + P_{l12}^1 + P_{l13}^1 &= 0 \\ 0 - P_{G2}^1 + P_{l21}^1 + P_{l23}^1 &= 0 \\ P_{D3}^1 - 0 + P_{l31}^1 + P_{l32}^1 &= 0 \end{aligned} \quad (3.13)$$

Persamaan *DC Power Flow* pada sistem 3 bus dengan periode $t=1$ adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{P_{l12}^1 - P_{l21}^1}{2} &= \frac{1}{x_{12}} [\theta_1 - \theta_2] \\ \frac{P_{l13}^1 - P_{l31}^1}{2} &= \frac{1}{x_{13}} [\theta_1 - \theta_3] \\ \frac{P_{l23}^1 - P_{l32}^1}{2} &= \frac{1}{x_{23}} [\theta_2 - \theta_3] \end{aligned} \quad (3.14)$$

Persamaan *Slack Bus* pada sistem 3 bus dengan periode $t=1$ adalah sebagai berikut:

$$\theta_1 = 0 \quad (3.15)$$

Persamaan *Ramp rate* pada sistem 3 bus dengan periode $t=2$ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} -P_{RD1} &\leq P_{G1}^2 - P_{G1}^1 \leq P_{RU1} \\ -P_{RD2} &\leq P_{G2}^2 - P_{G2}^1 \leq P_{RU2} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Persamaan kapasitas saluran pada sistem 3 bus dengan periode $t=1$ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{l12min} &\leq \frac{P_{l12}^t - P_{l21}^t}{2} \leq P_{l12max} \\ P_{l13mi} &\leq \frac{P_{l13}^t - P_{l31}^t}{2} \leq P_{l13max} \\ P_{l23min} &\leq \frac{P_{l23}^t - P_{l32}^t}{2} \leq P_{l23m} \\ P_{l21min} &\leq \frac{P_{l21}^t - P_{l12}^t}{2} \leq P_{l21max} \\ P_{l31mi} &\leq \frac{P_{l31}^t - P_{l13}^t}{2} \leq P_{l31max} \\ P_{l32} &\leq \frac{P_{l32}^t - P_{l23}^t}{2} \leq P_{l32ma} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Sehingga koefisien dari batasan linier dapat ditulis kedalam matriks **A** seperti berikut :

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{x_{12}} & \frac{-1}{x_{12}} & 0 & -0.5 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{x_{13}} & \frac{-1}{x_{13}} & 0 & -0.5 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{x_{23}} & \frac{-1}{x_{23}} & 0 & 0 & -0.5 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & -0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & -0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.5 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.5 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.5 & 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$$

Sedangkan untuk vector konstanta **lb** dan **ub** dapat ditulis sebagai berikut

$$lb^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ P_{D3}^1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P_{l12m} \\ P_{l13} \\ P_{l23min} \\ P_{l21min} \\ P_{l31min} \\ P_{l32min} \end{bmatrix} \quad ub^1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ P_{D3}^1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P_{l12max} \\ P_{l13max} \\ P_{l23max} \\ P_{l21max} \\ P_{l31max} \\ P_{l32max} \end{bmatrix}$$

Untuk t periode, matriks **A** disusun secara diagonal sebanyak t kali. Sedangkan matriks **lb** dan **ub** disusun sebanyak t kali sebagai matriks baris. Sebagai contoh, penyusunan matriks **A**, **lb** dan **ub** untuk contoh di atas dengan periode $t = 2$ adalah

$$A = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & & & \\ \hline & \mathbf{A}^1 & \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & \dots & 0 \\ \hline \vdots & & \vdots \\ \hline 0 & \dots & 0 \end{array} & \\ \hline \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & \dots & 0 \\ \hline \vdots & & \vdots \\ \hline 0 & \dots & 0 \end{array} & & \mathbf{A}^2 & \\ \hline \end{array}$$

Ramp rate

$$lb = \begin{bmatrix} lb^1 \\ lb^2 \end{bmatrix} \quad ub = \begin{bmatrix} ub^1 \\ ub^2 \end{bmatrix}$$

3.2.2.3 Penyusunan Koefisien Batasan Kuadrat (*Quadratic Constraints*)

Persamaan rugi-rugi transmisi pada sistem 3 bus dengan periode $t=1$ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} -P_{I12}^1 - P_{I21}^1 + g_{12}(\theta_1^t - \theta_2^t)^2 &= 0 \\ -P_{I13}^1 - P_{I31}^1 + g_{13}(\theta_1^t - \theta_3^t)^2 &= 0 \\ -P_{I23}^1 - P_{I32}^1 + g_{23}(\theta_2^t - \theta_3^t)^2 &= 0 \end{aligned} \quad (3.18)$$

Dalam penulisan koefisien batasan kuadrat, setiap persamaan memiliki matriksnya masing-masing. Sehingga setiap saluran transmisi akan dimodelkan dalam matriks masing-masing.

$$Q_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_{12} & -g_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -g_{12} & g_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Q_{13} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_{13} & 0 & -g_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_{13} & 0 & g_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Q_{23} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_{23} & -g_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -g_{23} & g_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$l_{12} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad l_{13} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad l_{23} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Sedangkan untuk pembentukan matriks Q dan l^T adalah hasil penumpukan dari matriks tiap persamaan yang telah dibentuk. Sebagai contoh, matriks persamaan saluran transmisi yang telah terbentuk seperti diatas dapat dibentuk matriks Q dan l^T seperti berikut

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{12} \\ Q_{13} \\ Q_{23} \end{bmatrix}$$

$$l^T = [l_{12} \quad l_{13} \quad l_{23}]$$

Dalam contoh ini, nilai dari seluruh elemen \mathbf{r} sebagai vector dari konstanta batasan fungsi kuadratik adalah 0, sehingga matriks \mathbf{r} dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Untuk t periode, matriks \mathbf{Q} dan \mathbf{l} disusun secara diagonal sebanyak t kali.. Sebagai contoh, penyusunan matriks \mathbf{Q} dan \mathbf{l}^T untuk contoh di atas dengan periode $t = 2$ adalah

$$\mathbf{Q} = \begin{array}{c|ccc} & & 0 & \dots & 0 \\ & & \vdots & & \vdots \\ & & 0 & \dots & 0 \\ \hline 0 & \dots & 0 & & \\ \hline & & & \mathbf{Q}^2 & \\ \hline \vdots & & \vdots & & \\ \hline 0 & \dots & 0 & & \end{array}$$

$$\mathbf{l}^T = \begin{array}{c|ccc} & & 0 & \dots & 0 \\ & & \vdots & & \vdots \\ & & 0 & \dots & 0 \\ \hline 0 & \dots & 0 & & \\ \hline & & & \mathbf{l}^{T2} & \\ \hline \vdots & & \vdots & & \\ \hline 0 & \dots & 0 & & \end{array}$$

Untuk t periode, matriks \mathbf{r} sebagai nilai konstanta fungsi batasan kuadratik disusun secara vertikal sebanyak t kali. Penulisan matriks \mathbf{r} dengan periode $t=2$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} r^1 \\ r^2 \end{bmatrix}$$

Pada contoh ini seluruh elemen \mathbf{r} adalah 0, sehingga :

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

Perhitungan *dynamic economic dispatch* dengan *quadratically constrained quadratic program* akan dibahas lebih mendalam pada bab ini. Beberapa studi kasus akan disimulasikan pada sistem IEEE 9 Bus dan IEEE 30 Bus sesuai dengan kriteria studi kasus masing-masing. Hasil simulasi meliputi daya yang terbangkitkan, total biaya pembangkitan serta rugi-rugi transmisi akan dijabarkan dalam tabel-tabel dan grafik.

4.1. Data Plan

4.1.1 Data Sistem IEEE 9 Bus

Sistem IEEE 9 Bus terdiri dari 9 bus, 9 saluran transmisi serta 3 generator. Data-data dari sistem ini dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Tipe Bus Sistem IEEE 9 Bus

Bus	Tipe Bus
1	<i>Slack Bus</i>
2	<i>Generator Bus</i>
3	<i>Generator Bus</i>
4	<i>Load Bus</i>
5	<i>Load Bus</i>
6	<i>Load Bus</i>
7	<i>Load Bus</i>
8	<i>Load Bus</i>
9	<i>Load Bus</i>

Tabel 4.2 Data Saluran Sistem IEEE 9 Bus

Dari Bus	Ke Bus	R (p.u)	X (p.u)	Kapasitas (MW)
1	4	0	0.0576	250
4	5	0.017	0.092	250
5	6	0.039	0.17	150
3	6	0	0.0586	300

Tabel 4.2 Data Saluran Sistem IEEE 9 Bus (Lanjutan)

Dari Bus	Ke Bus	R (p.u)	X (p.u)	Kapasitas (MW)
6	7	0.0119	0.1008	150
7	8	0.0085	0.072	250
8	2	0	0.0625	250
8	9	0.032	0.161	250
9	4	0.01	0.085	250

Tabel 4.3 Data Generator Sistem IEEE 9 Bus

Bus	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Ramp Rate
1	0.11	5	150	250	10	30
2	0.085	1.2	600	300	10	40
3	0.1225	1	335	270	10	35

4.1.2 Data Sistem IEEE 30 Bus

Sistem IEEE 30 Bus terdiri dari 30 bus, 41 saluran transmisi serta 6 generator. Data-data dari sistem ini dapat dilihat pada table-table dibawah ini:

Tabel 4.4 Tipe Bus Sistem IEEE 30 Bus

Bus	Type Bus	Bus	Type Bus
1	<i>Slack Bus</i>	16	<i>Load Bus</i>
2	<i>Generator Bus</i>	17	<i>Load Bus</i>
3	<i>Load Bus</i>	18	<i>Load Bus</i>
4	<i>Load Bus</i>	19	<i>Load Bus</i>
5	<i>Load Bus</i>	20	<i>Load Bus</i>
6	<i>Load Bus</i>	21	<i>Load Bus</i>
7	<i>Load Bus</i>	22	<i>Generator Bus</i>
8	<i>Load Bus</i>	23	<i>Generator Bus</i>
9	<i>Load Bus</i>	24	<i>Load Bus</i>
10	<i>Load Bus</i>	25	<i>Load Bus</i>
11	<i>Load Bus</i>	26	<i>Load Bus</i>
12	<i>Load Bus</i>	27	<i>Generator Bus</i>

13	<i>Generator Bus</i>	28	<i>Load Bus</i>
14	<i>Load Bus</i>	29	<i>Load Bus</i>
15	<i>Load Bus</i>	30	<i>Load Bus</i>

Tabel 4.5 Data Saluran Sistem IEEE 30 Bus

Dar i Bus	Ke Bu s	R (p.u)	X (p.u)	Kap. (MW)	Dar i Bus	Ke Bu s	R (p.u)	X (p.u)	Kap. (MW)
1	2	0.02	0.06	130	15	18	0.11	0.22	16
1	3	0.05	0.19	130	18	19	0.06	0.13	16
2	4	0.06	0.17	65	19	20	0.03	0.07	32
3	4	0.01	0.04	130	10	20	0.09	0.21	32
2	5	0.05	0.2	130	10	17	0.03	0.08	32
2	6	0.06	0.18	65	10	21	0.03	0.07	32
4	6	0.01	0.04	90	10	22	0.07	0.15	32
5	7	0.05	0.12	70	21	22	0.01	0.02	32
6	7	0.03	0.08	130	15	23	0.1	0.2	16
6	8	0.01	0.04	32	22	24	0.12	0.18	16
6	9	0	0.21	65	23	24	0.13	0.27	16
6	10	0	0.56	32	24	25	0.19	0.33	16
9	11	0	0.21	65	25	26	0.25	0.38	16
9	10	0	0.11	65	25	27	0.11	0.21	16
4	12	0	0.26	65	28	27	0	0.4	65
12	13	0	0.14	65	27	29	0.22	0.42	16
12	14	0.12	0.26	32	27	30	0.32	0.6	16
12	15	0.07	0.13	32	29	30	0.24	0.45	16
12	16	0.09	0.2	32	8	28	0.06	0.2	32
14	15	0.22	0.2	16	6	28	0.02	0.06	32
16	17	0.08	0.19	16					

Tabel 4.6 Data Generator Sistem IEEE 30 Bus

Bus	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Pmax (MW)	Pmin (MW)	<i>Ramp Rate</i>
1	0.02	2	0	80	0	20
3	0.0175	1.75	0	80	0	20
13	0.025	3	0	40	0	5

Tabel 4.6 Data Generator Sistem IEEE 30 Bus (Lanjutan)

Bus	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Pmax (MW)	Pmin (MW)	<i>Ramp Rate</i>
22	0.0625	1	0	50	0	5
23	0.025	3	0	30	0	5
27	0.00834	3.25	0	55	0	5

4.2. Simulasi dan Analisis Sistem IEEE 9 Bus

Simulasi dan analisa pada sistem IEEE 9 Bus dibagi menjadi 2 studi kasus yaitu :

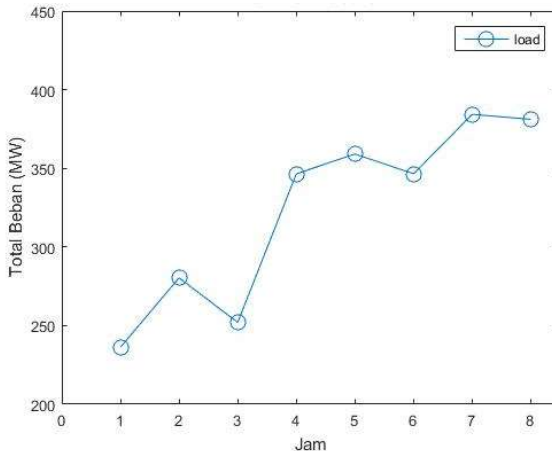
1. *DED* mempertimbangkan rugi-rugi transmisi tanpa menggunakan *ramp rate*.
2. *DED* mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dengan menggunakan *ramp rate*.

Sebelum mensimulasikan studi kasus, akan dilakukan simulasi *DC OPF* tanpa mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dan tanpa mempertimbangkan *ramp rate* dengan menggunakan *MATPOWER* . Hasil dari simulasi ini akan digunakan sebagai pembandingan hasil simulasi studi kasus nantinya.

Sebelum dilakukan simulasi pada sistem, profil pembebanan harus direncanakan terlebih dahulu. Total beban yang akan disimulasikan bersifat dinamis (berubah-ubah) berdasarkan waktu, hal ini merupakan implementasi dari *dynamic economic dispatch*. Profil pembebanan sistem dari simulasi sistem IEEE 9 Bus dapat dilihat melalui **Tabel 4.7** :

Tabel 4.7 Profil Pembebanan Sistem IEEE 9 Bus

Jam ke-	Beban yang terpenuhi (MW)			Total (MW)
	Bus 5	Bus 7	Bus 9	
1	67.5	75	93.75	236.25
2	80.1	89	111.25	280.35
3	72	80	100	252
4	99	110	137.5	346.5
5	102.6	114	142.5	359.1
6	99	110	137.5	346.5
7	109.8	122	152.5	384.3
8	108.9	121	151.25	381.15



Gambar 4.1 Profil Pembebanan Sistem IEEE 9 Bus

4.2.1 DC OPF Menggunakan Matpower

Simulasi ini adalah *DC OPF* tanpa mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dan tanpa menggunakan *ramp rate* dari unit pembangkit yang ada. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk didapatkan hasil yang akan digunakan sebagai pembandingan dari studi kasus yang akan dilakukan selanjutnya. Sehingga tidak akan dilakukan analisa pada hasil simulasi ini. Hasil dari simulasi ini ditunjukkan oleh **Tabel 4.8**

Tabel 4.8 Hasil Simulasi *DC OPF* Sistem IEEE 9 Bus

Jam	Daya Pembangkitan (MW)			Biaya (\$/h)	Total Biaya
	Unit 1	Unit 2	Unit 3		
1	61.89	102.45	71.90	3536.25	44162.27 (\$/h)
2	75.71	120.33	84.31	4424.27	
3	66.83	108.84	76.34	3838.02	
4	96.43	147.15	102.92	6007.61	
5	100.38	152.26	106.46	6343.39	
6	96.43	147.15	102.92	6007.61	
7	108.27	162.47	113.55	7047.78	
8	107.29	161.20	112.67	6957.34	
Total	2586.15				

4.2.2 Studi Kasus I

Pada studi kasus ini akan disimulasikan *DED* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi tanpa mempertimbangkan *ramp-rate*. Profil pembebanan yang diberikan sama dengan yang telah disebutkan sebelumnya. Hasil dari simulasi ini ditunjukkan oleh **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9 Hasil Simulasi Studi Kasus I Sistem IEEE 9 Bus

Jam	Daya Pembangkitan (MW)			Losses (MW)	Biaya (\$/h)	Total Biaya
	Unit 1	Unit 2	Unit 3			
1	64.0502	102.3842	71.9703	2.1548	3576.88	44996.39 (\$/h)
2	78.61	120.2762	84.4302	2.9664	4489.44	
3	69.2375	108.7733	76.4188	2.4296	3886.53	
4	100.6553	147.1289	103.1443	4.4285	6125.67	
5	104.8823	152.2458	106.7122	4.7402	6474.01	
6	100.6553	147.1289	103.1443	4.4285	6125.67	
7	113.363	162.4815	113.8512	5.3957	7206.15	
8	112.301	161.2019	112.9586	5.3115	7112.04	
Total	2618.0055			31.8552		

Dari **Tabel 4.9** terlihat hasil *Dynamic Economic Dispatch* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi tanpa menggunakan *ramp rate* dari unit pembangkit. Daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit lebih besar dari permintaan beban akibat rugi-rugi pada saluran transmisi

$$P_G = P_D + P_L \quad (4.1)$$

Dari persamaan 4.1 dapat dijelaskan bahwa daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit harus sama dengan permintaan beban dan rugi-rugi transmisi. Jika dibandingkan antara **Tabel 4.8** dengan **Tabel 4.9**, terlihat bahwa terdapat perbedaan jumlah daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit selama 8 jam yaitu sekitar 31.855 MW. Besarnya perbedaan daya ini sama dengan total losses dari hasil simulasi studi kasus I.

Selain besarnya daya, **Tabel 4.8** dan **Tabel 4.9** juga menunjukkan bahwa rugi-rugi transmisi juga memengaruhi besarnya total biaya pembangkitan sistem. Terdapat perbedaan biaya sekitar 834.1 \$.

Hal ini menunjukkan bahwa rugi-rugi transmisi menyebabkan biaya pembangkitan menjadi 1.8% lebih mahal.

4.2.3 Studi Kasus II

Pada studi kasus ini akan disimulasikan *DED* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dengan menggunakan batas *ramp rate* dari unit pembangkit. Profil pembebanan yang diberikan sama dengan yang telah disebutkan sebelumnya. Hasil dari simulasi ini ditunjukkan oleh **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 Hasil Simulasi Studi Kasus II Ssitem IEEE 9 Bus

Jam	Daya Pembangkitan (MW)			Losses (MW)	Biaya (\$/h)	Total Biaya
	Unit 1	Unit 2	Unit 3			
1	64.0502	102.3842	71.9703	2.1548	3576.88	44996.56 (\$/h)
2	78.61	120.2762	84.4302	2.9664	4489.44	
3	69.9516	108.3408	76.1182	2.4106	3886.61	
4	99.9516	147.5584	103.4430	4.4529	6125.76	
5	104.8823	152.2458	106.7122	4.7402	6474.01	
6	100.6553	147.1289	103.1443	4.4285	6125.67	
7	113.363	162.4815	113.8512	5.3957	7206.15	
8	112.301	161.2019	112.9586	5.3115	7112.04	
Total	2618.0107			31.8606		

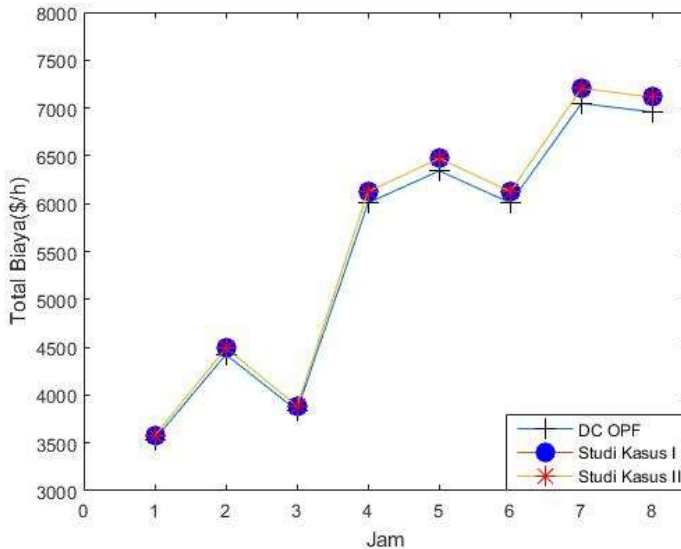
Dari **Tabel 4.10** terlihat hasil *DED* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dengan menggunakan batas *ramp rate* dari unit pembangkit. Jika dibandingkan antara **Tabel 4.9** dengan **Tabel 4.10**, terdapat perbedaan daya yang dibangkitkan oleh masing-masing unit pada jam ke-3 dan jam ke-4. Hal ini terjadi karena pada studi kasus I peningkatan daya pada unit 1 antara jam ke-3 hingga jam ke-4 yaitu sekitar 31.4178 MW telah melanggar batas *ramp rate* dari unit 1 (30 MW). Sehingga pada studi kasus II didapatkan hasil optimal yang memenuhi *ramp rate* yaitu sebesar 69.9516 MW pada jam ke-3 dan 99.9516 MW pada jam ke-4.

Karena adanya perbedaan daya yang dibangkitkan oleh tiap unit antara studi kasus 1 dan studi kasus II, besarnya rugi-rugi transmisi, total daya yang dibangkitkan serta total biaya pembangkitan selama 8 jam juga berbeda. Rugi-rugi transmisi yang didapat pada studi kasus II adalah sebesar 31.8606, hasil ini sekitar 0.005 MW lebih besar dari hasil studi

kasus I. Total daya yang dibangkitkan selama 8 jam adalah sebesar 2618.0107 MW, hasil ini sekitar 0.005 MW lebih besar dari studi kasus I. Sedangkan total biaya yang dibangkitkan adalah 44996.54 MW, hasil 0.17 \$ ini lebih besar dari studi kasus I.

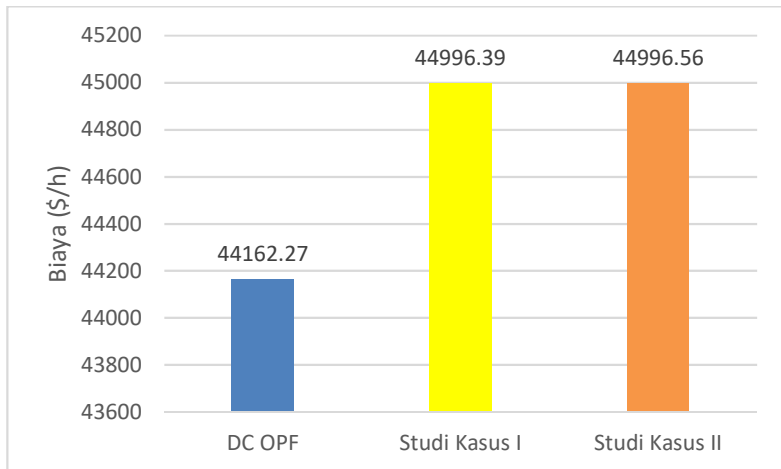
4.2.4 Perbandingan Total Biaya

Dari 3 simulasi yang dilakukan, total daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit berbeda-beda. Namun untuk pembangkitan daya perunit pembangkit perjamnya terdapat beberapa kesamaan pada studi kasus I dan studi kasus II, sehingga pada jam tertentu terdapat kesamaan pada biaya pembangkitan perjamnya. Biaya pembangkitan perjam pada semua simulasi dapat digambarkan pada grafik berikut:



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Biaya Pembangkitan Perjam Sistem IEEE 9 Bus

Dari **Gambar 4.2** terlihat bahwa biaya pembangkitan perjam pada studi kasus I dan studi kasus II relatif sama dan hanya terdapat sedikit perbedaan. Sedangkan untuk perbandingan total biaya pembangkitan, dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4.3 Grafik Perbedaan Total Biaya Sistem IEEE 9 Bus

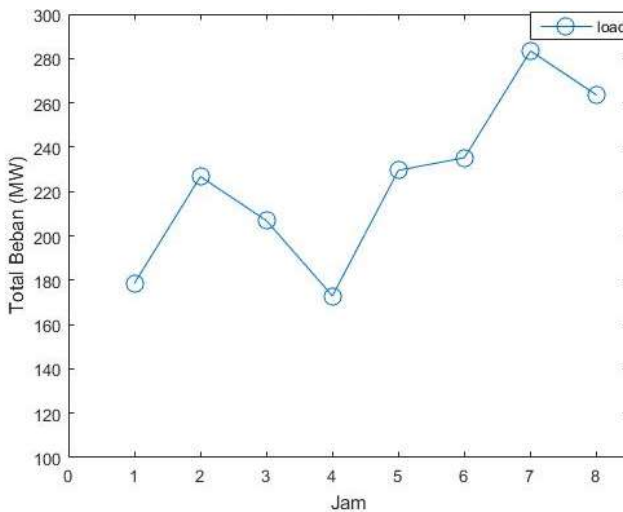
Total biaya pembangkitan terbesar adalah dari studi kasus II yaitu *DED* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dan menggunakan batasan *ramp-rate*

4.3 Simulasi dan Analisis Sistem IEEE 30 Bus

Pada sistem IEEE 30 Bus akan disimulasikan dua studi kasus dengan tiap studi kasusnya sama dengan studi kasus pada sistem IEEE 9 Bus. Pada sistem ini juga akan dilakukan simulasi *DC OPF* terlebih dahulu yang hasilnya nanti akan digunakan sebagai pembandingan dari hasil simulasi studi kasus. Profil pembebanan untuk simulasi sistem IEEE 30 Bus ditunjukkan oleh **Tabel 4.11**

Tabel 4.11 Profil Pembebanan Sistem IEEE 30 Bus

Jam	Total Beban (MW)	Jam	Total Beban (MW)
1	178.542	5	229.554
2	226.72	6	235.222
3	206.882	7	283.4
4	172.874	8	263.562



Gambar 4.4 Profil Pembebanan Sistem IEEE 30 Bus

4.3.1 DC OPF Menggunakan Matpower

Sama halnya dengan sistem IEEE 9 Bus, tujuan dari simulasi ini adalah untuk mendapatkan hasil yang dapat digunakan sebagai pembandingan hasil simulasi dari studi kasus yang ada. Sehingga tidak akan dilakukan analisis pada hasil simulasi ini. Hasil dari simulasi ini dapat dilihat pada **Tabel 4.12**

Tabel 4.12 Hasil Simulasi *DC OPF* Sistem IEEE 30 Bus

	Daya Pembangkitan (MW)			
	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4
Unit 1	43.08	50.54	47.47	42.20
Unit 2	56.38	64.90	61.39	55.37
Unit 3	14.46	20.43	17.97	13.76
Unit 4	21.79	24.17	23.19	21.50
Unit 5	14.46	20.43	17.97	13.76
Unit 6	28.37	46.25	38.89	26.27
Biaya(\$/h)	525.17	711.73	633.17	504.17
Daya Total	178.54	226.72	206.88	172.87

Tabel 4.12 Hasil Simulasi *DC OPF* Sistem IEEE 30 Bus (Lanjutan)

	Daya Pembangkitan (MW)			
	Jam 5	Jam 6	Jam 7	Jam 8
Unit 1	50.98	51.85	63.39	57.89
Unit 2	65.40	66.40	79.56	73.28
Unit 3	20.78	21.48	32.36	27.55
Unit 4	24.31	24.59	28.08	26.65
Unit 5	20.78	21.48	25.03	23.96
Unit 6	47.30	49.41	55.00	54.23
Biaya(\$/h)	723.16	746.15	952.41	864.70
Daya Total	229.55	235.22	283.40	263.56
Total Biaya	5660.66(\$/h)		Total Daya	1796.74

4.3.2 Studi Kasus 1

Pada studi kasus ini akan disimulasikan *Dynamic Economic Dispatch* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi tanpa mempertimbangkan ramp-rate. Profil pembebanan yang diberikan sama dengan yang telah disebutkan sebelumnya. Hasil dari simulasi ini ditunjukkan oleh **Tabel 4.13**.

Tabel 4.13 Hasil Simulasi Studi Kasus 1 Sistem IEEE 30 Bus

	Daya Pembangkitan (MW)			
	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4
Unit 1	42.5667	50.4622	47.1985	41.6447
Unit 2	56.7499	66.1001	62.2305	55.6606
Unit 3	15.6891	22.3835	19.6123	14.9095
Unit 4	22.2628	25.0156	23.8745	21.9430
Unit 5	14.8701	21.0184	18.481	14.15
Unit 6	28.6392	45.411	38.5109	26.6629
Losses	2.2360	3.6708	3.0257	2.0967
Biaya(\$/h)	533.5615	726.6761	645.0883	511.959
Daya Total	180.7778	230.3908	209.9077	174.9707
	Daya Pembangkitan (MW)			
	Jam 5	Jam 6	Jam 7	Jam 8
Unit 1	50.9298	51.8663	64.0379	57.7412
Unit 2	66.6552	67.7669	80	74.7192
Unit 3	22.7811	23.5775	35.1709	29.6183

Tabel 4.13 Hasil Simulasi Studi Kasus 1 Sistem IEEE 30 Bus (Lanjutan)

	Daya Pembangkitan (MW)			
	Jam 5	Jam 6	Jam 7	Jam 8
Unit 4	25.1795	25.5079	29.3331	27.6009
Unit 5	21.3815	22.1082	25.5308	24.2876
Unit 6	46.3961	48.3658	55	54.5617
Losses	3.7691	3.9705	5.6727	4.9667
Biaya(\$/h)	738.5703	762.5386	978.5070	886.3865
Daya Total	233.3232	239.1926	289.0727	268.5289
Total Biaya	5783.2873 (\$/h)		Total Daya	1826.1644

Dari **Tabel 4.13** terlihat hasil simulasi *Dynamic Economic Dispatch* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi tanpa menggunakan *ramp rate* dari unit pembangkit. Daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit lebih besar dari permintaan beban akibat rugi-rugi pada saluran transmisi. Jika dibandingkan dengan **Tabel 4.12**, total daya yang dibangkitkan oleh sistem selama 8 jam nilainya lebih besar. Hal ini dikarenakan unit pembangkit harus mempertimbangkan rugi-rugi transmisi agar daya yang sampai pada beban sesuai dengan permintaannya. Selisih dari total daya yang dibangkitkan antara *DC OPF* dengan studi kasus I selama 8 jam adalah sekitar 29.4 MW, dimana total rugi-rugi transmisi dari sistem juga sebesar 29.4 MW. Rugi-rugi transmisi juga memengaruhi total biaya pembangkitan pada sistem selama 8 jam. Selisih total biaya pembangkitan adalah sekitar 122.62 \$. Dari simulasi ini dapat disimpulkan bahwa rugi-rugi transmisi dapat menyebabkan total biaya pembangkitan pada sistem menjadi lebih mahal.

4.3.3 Studi Kasus II

Pada studi kasus ini akan disimulasikan *Dynamic Economic Dispatch* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dengan menggunakan batas *ramp rate* dari unit pembangkit. Profil pembebanan yang diberikan sama dengan yang telah disebutkan sebelumnya. Hasil dari simulasi ini ditunjukkan oleh **Tabel 4.14**.

Tabel 4.14 Hasil Simulasi Studi Kasus II Sistem IEEE 30 Bus

	Daya Pembangkitan (MW)			
	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4
Unit 1	39.6441	53.3468	47.1985	35.3491
Unit 2	53.3386	69.4802	62.2305	49.0875
Unit 3	16.5330	21.5330	19.6123	16.6616
Unit 4	21.2748	26.0007	23.8745	20.4771
Unit 5	15.4405	20.4405	18.481	13.9115
Unit 6	34.5572	39.5572	38.5109	39.5380
Losses	2.2462	3.6384	3.0257	2.1507
Biaya(\$/h)	534.3995	727.5045	645.0883	515.4777
Daya Total	180.7882	230.3584	209.9077	175.0248
	Daya Pembangkitan (MW)			
	Jam 5	Jam 6	Jam 7	Jam 8
Unit 1	53.6638	50.5120	67.9771	57.7412
Unit 2	69.0875	66.1832	80.0000	74.7192
Unit 3	21.6616	26.6616	31.6616	29.6183
Unit 4	25.4771	25.2192	30.2192	27.6009
Unit 5	18.9115	21.0428	24.7587	24.2876
Unit 6	44.5380	49.5380	54.5380	54.5617
Losses	3.7854	3.9348	5.7547	4.9667
Biaya(\$/h)	739.0830	762.9167	979.3685	886.3865
Daya Total	233.3395	239.1568	289.1546	268.5289
Total Biaya	5790.2247 (\$/h)		Total Daya	1826.2589

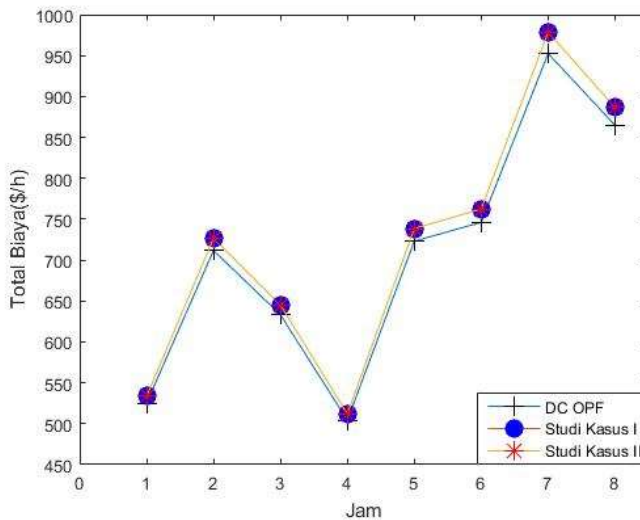
Dari **Tabel 4.14** terlihat hasil *DED* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dengan menggunakan batas *ramp rate* dari unit pembangkit. Jika dibandingkan dengan *DED* tanpa menggunakan *ramp rate* (studi kasus 1), ada perbedaan jam ke-1, 2, 4, 5, 6, dan 7. Hal ini terjadi karena pada pada studi kasus 1 terdapat beberapa unit yang melanggar batas *ramp rate* dari unit pembangkit, sehingga pada studi kasus II akan didapatkan nilai yang optimal dengan mempertimbangkan *ramp rate*. Sebagai contohnya unit 6 pada studi kasus I saat periode jam ke-1 menuju jam ke-2 mengalami kenaikan sekitar 16.772 MW, kenaikan daya ini melanggar *ramp rate* dari unit 6 (5 MW).

Akibat adanya perbedaan daya pembangkitan pada unit pembangkit, maka rugi-rugi transmisi juga mengalami perbedaan. Dimana pada studi kasus II didapatkan rugi-rugi transmisi yang lebih

besar dari studi kasus I yaitu sekitar 29.5 MW sedangkan pada studi kasus I sebesar 29.4 MW. Sehingga total daya yang dibangkitkan selama 8 jam memiliki selisih sekitar 0.1 MW. Selain rugi-rugi transmisi, perbedaan daya pada unit pembangkit antara studi kasus I dan studi kasus II juga mengakibatkan total biaya pembangkitan selama 8 jam juga berbeda. Dimana pada studi kasus II didapatkan total biaya pembangkitan selama 8 jam adalah sekitar 5790.2247 \$, hasil ini lebih mahal 6.93 \$ dari studi kasus I.

4.3.4 Perbandingan Total Biaya

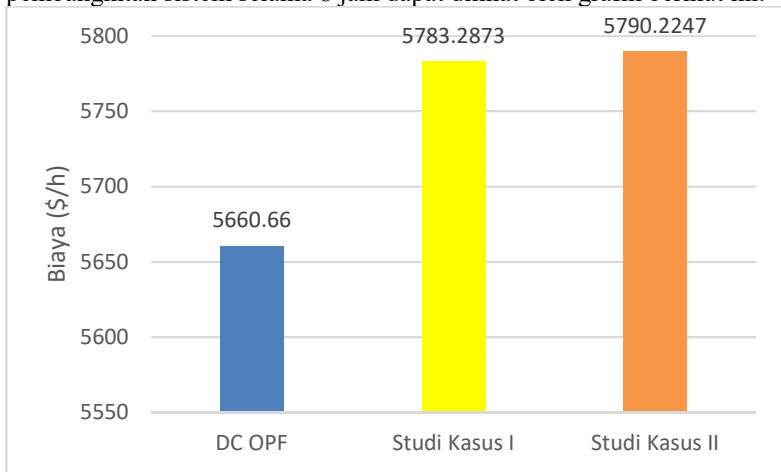
Dari 3 simulasi yang dilakukan, total daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit berbeda-beda. Daya yang dibangkitkan tiap jamnya oleh 3 simulasi yang dilakukan dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Biaya Pembangkitan Perjam Sistem IEEE 30 Bus

Dari grafik yang ditunjukkan **Gambar 4.5** dapat terlihat bahwa selisih total biaya pembangkitan tiap jam antara hasil simulasi studi kasus I dan studi kasus II relatif kecil. Namun saat biaya pembangkitan dihitung

selama 8 jam, terlihat perbedaan yang cukup jelas. Total biaya pembangkitan sistem selama 8 jam dapat dilihat oleh grafik berikut ini.



Gambar 4.6 Grafik Perbedaan Total Biaya Sistem IEEE 30 Bus

Total biaya pembangkitan terbesar adalah dari studi kasus II yaitu *DED* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi dan menggunakan batasan *ramp-rate*.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis *dynamic economic dispatch* dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi menggunakan *quadratically constrained quadratic program* didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Dengan menggunakan sistem IEEE 9 Bus dan IEEE 30 Bus, program *dynamic economic dispatch* yang disusun melalui *MATLAB* dan *OPTI Toolbox* telah mampu melakukan perhitungan *dynamic economic dispatch* dengan memberikan hasil keluaran daya yang minimal dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi.
2. Dari hasil simulasi, rugi-rugi transmisi menyebabkan total daya yang dibangkitkan menjadi lebih besar. Pada simulasi sistem IEEE 9 Bus studi kasus I, total daya yang dibangkitkan lebih besar 31.8552 MW, sedangkan pada simulasi sistem IEEE 30 Bus studi kasus I 29.4 MW jika dibandingkan dengan *DC OPF*.
3. Dari hasil simulasi, rugi-rugi transmisi menyebabkan total biaya pembangkitan menjadi lebih besar dari awalnya. Dengan mempertimbangkan rugi-rugi transmisi, biaya pembangkitan pada sistem IEEE 9 Bus lebih besar 834.1\$, sedangkan pada sistem IEEE 30 Bus 122.62\$ jika dibandingkan dengan *DC OPF*.
4. Dari hasil simulasi, *ramp-rate* menyebabkan total biaya pembangkitan menjadi lebih mahal. Pada simulasi sistem IEEE 9 Bus studi kasus II total biaya pembangkitan lebih besar 0.17\$ sedangkan pada sistem IEEE 30 Bus lebih besar 6.93 \$ jika dibandingkan dengan studi kasus I.

5.2. Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut pada bidang *Unit Commitment*, agar bisa mendapatkan hasil perhitungan yang mendekati keadaan *real*.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambahkan *renewable energy generator* dan *energy storage* atau dengan melibatkan daya reaktif (Q)

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Yan, Z. X. Xing, W. Li, and B. Zhang, “Economic Dispatch Application of Power System With Energy Storage Systems,” *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 26, no. 7, pp. 1–5, Oct. 2016.
- [2] D. Ross and S. Kim, “Dynamic Economic Dispatch of Generation,” *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. PAS-99, no. 6, pp. 2060–2068, Nov. 1980.
- [3] A. J. Wood and B. F. Wollenberg, *Power generation, operation, and control*, 2nd ed. New York: J. Wiley & Sons, 1996.
- [4] H. Zhong, Q. Xia, Y. Wang, and C. Kang, “Dynamic Economic Dispatch Considering Transmission Losses Using Quadratically Constrained Quadratic Program Method,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 3, pp. 2232–2241, Aug. 2013.
- [5] Purnomo, Fiona Yolita, “Aliran Daya Optimal Dinamis dengan Mempertimbangkan Harga Charging dan Discharging Energy Storage Menggunakan Mixed-Integer Quadratic Programming”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2017.
- [6] Virgiansyah, Galih Budi, “Dynamic Economic Dispatch pada Sistem dengan Wind Turbine dan Media Penyimpanan Energi Mempertimbangkan Energy Cycle Limit” , Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2017.
- [7] Wigaswara, Yoanes Bagus Nugraha, “Airan Daya Optimal dengan Batas Keamanan Sistem Mempertimbangkan Energy Storage”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2017.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

LAMPIRAN

Sudut tegangan bus sistem IEEE 9 Bus pada studi kasus I (dalam radian)

Bus	Jam			
	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	0.0826	0.0926	0.0862	0.1073
3	0.0558	0.0611	0.0577	0.0689
4	-0.0369	-0.0453	-0.0399	-0.0580
5	-0.0597	-0.0734	-0.0646	-0.0942
6	0.0136	0.0117	0.0129	0.0084
7	-0.0150	-0.0225	-0.0177	-0.0339
8	0.0186	0.0174	0.0182	0.0153
9	-0.0702	-0.0859	-0.0758	-0.1098
Bus	Jam			
	5	6	7	8
1	0	0	0	0
2	0.1100	0.1073	0.1155	0.1148
3	0.0703	0.0689	0.0732	0.0728
4	-0.0604	-0.0580	-0.0653	-0.0647
5	-0.0982	-0.0942	-0.1062	-0.1052
6	0.0078	0.0084	0.0064	0.0066
7	-0.0361	-0.0339	-0.0406	-0.0400
8	0.0149	0.0153	0.0140	0.0141
9	-0.1143	-0.1098	-0.1235	-0.1224

Sudut tegangan bus sistem IEEE 9 Bus pada studi kasus II (dalam radian)

Bus	Jam			
	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	0.0826	0.0926	0.0845	0.1089
3	0.0558	0.0611	0.0563	0.0703
4	-0.0369	-0.0453	-0.0403	-0.0576
5	-0.0597	-0.0734	-0.0653	-0.0935
6	0.0136	0.0117	0.0117	0.0097
7	-0.0150	-0.0225	-0.019	-0.0326

8	0.0186	0.0174	0.0168	0.0166
9	-0.0702	-0.0859	-0.0765	-0.1090
Bus	Jam			
	5	6	7	8
1	0	0	0	0
2	0.1100	0.1073	0.1155	0.1148
3	0.0703	0.0689	0.0732	0.0728
4	-0.0604	-0.0580	-0.0653	-0.0647
5	-0.0982	-0.0942	-0.1062	-0.1052
6	0.0078	0.0084	0.0064	0.0066
7	-0.0361	-0.0339	-0.0406	-0.0400
8	0.0149	0.0153	0.0140	0.0141
9	-0.1143	-0.1098	-0.1235	-0.1224

Sudut tegangan bus sistem IEEE 30 Bus pada studi kasus I (dalam radian)

Bus	Jam			
	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	-0.0158	-0.0193	-0.0179	-0.0154
3	-0.0306	-0.0344	-0.0328	-0.0302
4	-0.0364	-0.0408	-0.039	-0.0359
5	-0.0964	-0.1188	-0.1095	-0.0936
6	-0.0454	-0.0512	-0.0488	-0.0447
7	-0.0728	-0.0872	-0.0813	-0.0711
8	-0.051	-0.0578	-0.055	-0.0502
9	-0.0427	-0.0459	-0.0446	-0.0424
10	-0.0413	-0.0431	-0.0423	-0.0411
11	-0.0427	-0.0459	-0.0446	-0.0424
12	-0.0349	-0.0317	-0.0330	-0.0352
13	-0.0129	-0.0003	-0.0055	-0.0144
14	-0.0408	-0.0387	-0.0396	-0.0411
15	-0.0376	-0.0342	-0.0356	-0.0380
16	-0.0421	-0.0422	-0.0421	-0.0421
17	-0.0448	-0.0469	-0.0460	-0.0445
18	-0.0487	-0.0497	-0.0493	-0.0486
19	-0.0526	-0.0555	-0.0543	-0.0523

20	-0.0505	-0.0533	-0.0526	-0.0502
21	-0.0357	-0.0359	-0.0358	-0.0357
22	-0.0319	-0.0310	-0.0313	-0.0320
23	-0.0180	-0.0060	-0.0110	-0.0195
24	-0.0262	-0.0176	-0.0211	-0.0273
25	-0.0077	0.0161	0.0063	-0.0105
26	-0.0161	0.0054	-0.0034	-0.0186
27	0.0089	0.0437	0.0294	0.0047
28	-0.0410	-0.0428	-0.0420	-0.0408
29	-0.0072	0.0233	0.0108	-0.0108
30	-0.0176	0.0101	-0.0012	-0.0209
Bus	Jam			
	5	6	7	8
1	0	0	0	0
2	-0.0195	-0.0199	-0.0249	-0.0224
3	-0.0346	-0.0350	-0.0423	-0.0384
4	-0.0411	-0.0416	-0.0501	-0.0456
5	-0.1202	-0.1228	-0.1491	-0.1373
6	-0.0516	-0.0523	-0.0639	-0.0577
7	-0.0881	-0.0898	-0.1092	-0.1000
8	-0.0583	-0.0591	-0.0722	-0.0653
9	-0.0461	-0.0464	-0.0565	-0.0508
10	-0.0432	-0.0433	-0.0526	-0.0471
11	-0.0461	-0.0464	-0.0565	-0.0508
12	-0.035	-0.0311	-0.0308	-0.0301
13	0.0004	0.0019	0.0184	0.0113
14	-0.0386	-0.0383	-0.0411	-0.0388
15	-0.0340	-0.0336	-0.0365	-0.0340
16	-0.0422	-0.0422	-0.0472	-0.0440
17	-0.0470	-0.0472	-0.0561	-0.0509
18	-0.0498	-0.0499	-0.0577	-0.0530
19	-0.0557	-0.0561	-0.0660	-0.0604
20	-0.0535	-0.0539	-0.0638	-0.0582
21	-0.0359	-0.0359	-0.0444	-0.0391
22	-0.0309	-0.0308	-0.0386	-0.0335
23	-0.0053	-0.0039	-0.0047	-0.0022
24	-0.0171	-0.0161	-0.0217	-0.0165

25	0.0175	0.0202	0.0176	0.0244
26	0.0067	0.0092	0.0042	0.0120
27	0.0458	0.0498	0.0504	0.0578
28	-0.0429	-0.0431	-0.0538	-0.0474
29	0.0250	0.0286	0.0248	0.0340
30	0.0117	0.0149	0.0083	0.0187

Sudut tegangan bus sistem IEEE 30 Bus pada studi kasus II (dalam radian)

Bus	Jam			
	1	2	3	4
1	0	0	0	0
2	-0.0150	-0.0201	-0.0179	-0.0136
3	-0.0276	-0.0374	-0.0328	-0.0239
4	-0.0328	-0.0444	-0.039	-0.0284
5	-0.0936	-0.1214	-0.1095	-0.0881
6	-0.0410	-0.0556	-0.0488	-0.0355
7	-0.0691	-0.0909	-0.0813	-0.0633
8	-0.0462	-0.0625	-0.055	-0.0403
9	-0.0368	-0.0517	-0.0446	-0.0303
10	-0.0347	-0.0496	-0.0423	-0.0276
11	-0.0368	-0.0517	-0.0446	-0.0303
12	-0.0276	-0.0388	-0.0330	-0.0212
13	-0.0045	-0.0087	-0.0055	0.0021
14	-0.0332	-0.0462	-0.0396	-0.0266
15	-0.0297	-0.0419	-0.0356	-0.0231
16	-0.0351	-0.0491	-0.0421	-0.0283
17	-0.0380	-0.0535	-0.0460	-0.0310
18	-0.0412	-0.0570	-0.0493	-0.0342
19	-0.0454	-0.0626	-0.0543	-0.0381
20	-0.0435	-0.0603	-0.0526	-0.0362
21	-0.0287	-0.0427	-0.0358	-0.0214
22	-0.0248	-0.0380	-0.0313	-0.0175
23	-0.0085	-0.0154	-0.0110	-0.0025
24	-0.0160	-0.0277	-0.0211	-0.0068
25	0.0094	-0.0007	0.0063	0.0252
26	0.0010	-0.0114	-0.0034	0.0171

27	0.0303	0.0225	0.0294	0.0503
28	-0.0347	-0.0490	-0.0420	-0.0276
29	0.0143	0.0021	0.0108	0.0348
30	0.0039	-0.0111	-0.0012	0.0248
Bus	Jam			
	5	6	7	8
1	0	0	0	0
2	-0.0203	-0.0196	-0.0264	-0.0224
3	-0.0373	-0.0335	-0.0449	-0.0384
4	-0.0443	-0.0398	-0.0534	-0.0456
5	-0.1224	-0.1217	-0.1515	-0.1373
6	-0.0552	-0.0504	-0.0671	-0.0577
7	-0.0911	-0.0882	-0.1121	-0.1000
8	-0.0620	-0.0571	-0.0755	-0.0653
9	-0.0518	-0.0437	-0.0611	-0.0508
10	-0.0500	-0.0402	-0.058	-0.0471
11	-0.0518	-0.0437	-0.0611	-0.0508
12	-0.0396	-0.0255	-0.0398	-0.0301
13	-0.0093	0.0119	0.0045	0.0113
14	-0.0473	-0.0333	-0.0498	-0.0388
15	-0.0432	-0.029	-0.045	-0.0340
16	-0.0498	-0.0376	-0.0547	-0.0440
17	-0.0540	-0.0437	-0.0621	-0.0509
18	-0.0581	-0.0458	-0.0651	-0.0530
19	-0.0636	-0.0523	-0.0728	-0.0604
20	-0.0611	-0.0502	-0.0702	-0.0582
21	-0.0431	-0.0328	-0.0497	-0.0391
22	-0.0382	-0.0278	-0.0438	-0.0335
23	-0.0175	-0.0011	-0.0132	-0.0022
24	-0.0266	-0.0127	-0.0282	-0.0165
25	0.0072	0.0248	0.0115	0.0244
26	-0.0036	0.0138	-0.0019	0.0120
27	0.0350	0.05522	0.0446	0.0578
28	-0.0473	-0.0409	-0.0573	-0.0474
29	0.0143	0.0340	0.0189	0.0340
30	0.0009	0.0203	0.0025	0.0187

Daya saluran sistem IEEE 9 Bus pada studi kasus I (dalam MW)

Dari Bus	Ke Bus	Jam 1			Jam 2		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	4	64.0502	-64.0502	0	78.61	-78.61	0
4	5	24.8151	-24.7143	0.1008	30.6703	-30.5165	0.1539
5	6	-42.7857	43.4750	0.6892	-49.5835	50.5115	0.928
3	6	71.9703	-71.9703	0	84.4302	-84.4302	0
6	7	28.4954	-28.4004	0.0950	33.9187	-33.7842	0.1345
7	8	-46.5996	46.7823	0.1828	-55.2158	55.4726	0.2568
8	2	-102.384	102.3842	0	-120.276	120.276	0
8	9	55.60189	-54.6661	0.9358	64.8036	-63.536	1.2676
9	4	-39.0839	39.2352	0.1513	-47.714	47.9397	0.2256
Dari Bus	Ke Bus	Jam 3			Jam 4		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	4	69.2375	-69.2375	0	100.6553	-100.6553	0
4	5	26.9008	-26.9008	0.1184	39.5424	-39.2871	0.2554
5	6	-45.2177	45.9882	0.7705	-59.7129	61.0640	1.3511
3	6	76.4188	-76.4188	0	103.1443	-103.144	0
6	7	30.4306	-30.3223	0.1083	42.0802	-41.8734	0.2068
7	8	-49.6777	49.8854	0.2078	-68.1266	68.5179	0.3913
8	2	-108.773	108.7733	0	-147.129	147.1289	0
8	9	58.88789	-57.8393	1.0486	78.6110	-76.7534	1.8577
9	4	-42.1607	42.3368	0.1761	-60.7466	61.1128	0.3662
Dari Bus	Ke Bus	Jam 5			Jam 6		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	4	104.8823	-104.8823	0	100.6553	-100.6553	0
4	5	41.2445	-40.9668	0.2777	39.5424	-39.2871	0.2554
5	6	-61.6332	63.0737	1.4405	-59.7129	61.0640	1.3511
3	6	106.7122	-106.712	0	103.1443	-103.144	0
6	7	43.6385	-43.4161	0.2224	42.0802	-41.8734	0.2068
7	8	-70.5839	71.0040	0.4201	-68.1266	68.5179	0.3913
8	2	-152.246	152.2458	0	-147.129	147.1289	0
8	9	81.2417	-79.2592	1.9825	78.6110	-76.7534	1.8577
9	4	-63.2408	63.6378	0.3970	-60.7466	61.1128	0.3662
Dari Bus	Ke Bus	Jam 7			Jam 8		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	4	113.363	-113.363	0	112.301	-112.301	0
4	5	44.6602	-44.3347	0.3255	44.2324	-43.9131	0.3193
5	6	-65.4653	67.0928	1.6275	-64.9869	66.5905	1.6036
3	6	113.851	-113.851	0	112.9586	-112.959	0
6	7	46.7584	-46.5032	0.2552	46.3681	-46.1171	0.2510

7	8	-75.4968	75.9777	0.4809	-74.8829	75.3559	0.4730
8	2	-162.482	162.482	0	-161.202	161.202	0
8	9	86.5038	-84.2596	2.2442	85.8460	-83.6354	2.2106
9	4	-68.2404	68.7028	0.4624	-67.6146	68.0686	0.4540

Daya saluran sistem IEEE 9 Bus pada studi kasus II (dalam MW)

Dari Bus	Ke Bus	Jam 1			Jam 2		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	4	64.0502	-64.0502	0	78.61	-78.61	0
4	5	24.8151	-24.7143	0.1008	30.6703	-30.5165	0.1539
5	6	-42.7857	43.4750	0.6892	-49.5835	50.5115	0.928
3	6	71.9703	-71.9703	0	84.4302	-84.4302	0
6	7	28.4954	-28.4004	0.0950	33.9187	-33.7842	0.1345
7	8	-46.5996	46.7823	0.1828	-55.2158	55.4726	0.2568
8	2	-102.384	102.3842	0	-120.276	120.276	0
8	9	55.60189	-54.6661	0.9358	64.8036	-63.536	1.2676
9	4	-39.0839	39.2352	0.1513	-47.714	47.9397	0.2256
Dari Bus	Ke Bus	Jam 3			Jam 4		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	4	69.5916	-69.5916	0	99.9516	-99.9516	0
4	5	27.2332	-27.1118	0.1214	39.2148	-38.9636	0.2512
5	6	-44.8882	45.6474	0.7592	-60.0364	61.40238	1.3659
3	6	76.1182	-76.1182	0	103.443	-103.443	78
6	7	30.4708	-30.3622	0.1086	42.0406	-41.8342	0.2064
7	8	-49.6378	49.8452	0.2074	-68.1658	68.5576	0.3918
8	2	-108.341	108.341	0	-147.558	147.558	0
8	9	58.4956	-57.4608	1.0348	79.0007	-77.1248	1.8759
9	4	-42.5392	42.7184	0.1792	-60.3752	60.7369	0.3617
Dari Bus	Ke Bus	Jam 5			Jam 6		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	4	104.8823	-104.8823	0	100.6553	-100.6553	0
4	5	41.2445	-40.9668	0.2777	39.5424	-39.2871	0.2554
5	6	-61.6332	63.0737	1.4405	-59.7129	61.0640	1.3511
3	6	106.7122	-106.712	0	103.1443	-103.144	0
6	7	43.6385	-43.4161	0.2224	42.0802	-41.8734	0.2068
7	8	-70.5839	71.0040	0.4201	-68.1266	68.5179	0.3913
8	2	-152.246	152.2458	0	-147.129	147.1289	0
8	9	81.2417	-79.2592	1.9825	78.6110	-76.7534	1.8577

9	4	-63.2408	63.6378	0.3970	-60.7466	61.1128	0.3662
Dari Bus	Ke Bus	Jam 7			Jam 8		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	4	113.363	-113.363	0	112.301	-112.301	0
4	5	44.6602	-44.3347	0.3255	44.2324	-43.9131	0.3193
5	6	-65.4653	67.0928	1.6275	-64.9869	66.5905	1.6036
3	6	113.851	-113.851	0	112.9586	-112.959	0
6	7	46.7584	-46.5032	0.2552	46.3681	-46.1171	0.2510
7	8	-75.4968	75.9777	0.4809	-74.8829	75.3559	0.4730
8	2	-162.482	162.482	0	-161.202	161.202	0
8	9	86.5038	-84.2596	2.2442	85.8460	-83.6354	2.2106
9	4	-68.2404	68.7028	0.4624	-67.6146	68.0686	0.4540

Daya saluran sistem IEEE 30 Bus pada studi kasus I (dalam MW)

Dari Bus	Ke Bus	Jam 1			Jam 2		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	2	26.3837	-26.259	0.1247	32.29197	-32.1054	0.1866
1	3	16.1830	-16.0615	0.1215	18.17018	-18.0171	0.1531
2	4	12.1895	-12.1108	0.0788	12.6854	-12.6001	0.0853
3	4	14.5495	-14.5296	0.0199	16.0971	-16.0727	0.0244
2	5	40.6130	-39.8513	0.7617	50.33948	-49.1744	1.1651
2	6	16.5354	-16.3891	0.1463	17.8206	-17.6507	0.1699
4	6	22.4657	-22.4183	0.0474	26.11079	-26.0468	0.0640
5	7	-19.4947	19.6580	0.1633	-26.1856	26.48101	0.2954
6	7	34.3292	-34.022	0.3072	45.25331	-44.721	0.5323
6	8	13.9141	-13.8959	0.0182	16.51777	-16.4921	0.0256
6	9	-1.2774	1.2774	0	-2.55599	2.555986	0
6	10	-0.7300	0.7300	0	-1.46056	1.46056	0
9	11	0	0	0	0	0	0
9	10	-1.2774	1.2774	0	-2.55599	2.55599	0
4	12	-0.6133	0.6133	0	-3.51793	3.51793	0
12	13	-15.6891	15.6891	0	-22.3835	22.3835	0
12	14	2.2966	-2.2914	0.0052	2.7057	-2.6985	0.0072
12	15	2.1032	-2.1008	0.0024	1.9221	-1.9201	0.0020
12	16	3.6199	-3.6102	0.0098	5.277733	-5.25697	0.0208
14	15	-1.6146	1.6172	0.0026	-2.2615	2.2666	0.0051
16	17	1.4051	-1.4038	0.0013	2.4570	-2.4529	0.0041
15	18	5.0536	-5.0313	0.0224	7.0891	-7.0452	0.0439
18	19	3.015	-3.0108	0.0045	4.4852	-4.4753	0.0099
19	20	-2.9742	2.9765	0.0022	-3.1247	3.1272	0.0025
10	20	4.3770	-4.3625	0.0145	4.90545	-4.8872	0.0182

10	17	4.2710	-4.2662	0.0048	4.753062	-4.74713	0.0059
10	21	-8.0268	8.0431	0.0164	-10.2838	10.31063	0.0269
10	22	-6.2826	6.3054	0.0228	-8.03131	8.068557	0.0372
21	22	-19.0681	19.0973	0.0291	-24.3106	24.358	0.0474
15	23	-9.7360	9.8124	0.0764	-13.9956	14.15409	0.1585
22	24	-3.1398	3.1480	0.0082	-7.41096	7.456869	0.0459
23	24	3.0417	-3.0320	0.0097	4.304275	-4.28481	0.0195
24	25	-5.5971	5.6421	0.041	-10.1321	10.28071	0.1486
25	26	2.2135	-2.205	0.0085	2.813746	-2.8	0.0137
25	27	-7.8556	7.9093	0.0536	-13.0945	13.24415	0.1497
28	27	-12.4564	12.4564	0	-21.6317	21.6317	0
27	29	3.8428	-3.8175	0.0253	4.892707	-4.85173	0.0410
27	30	4.4307	-4.3824	0.0484	5.642468	-5.56425	0.0782
29	30	2.3055	-2.2956	0.0099	2.931727	-2.91575	0.0160
8	28	-5.0041	5.0179	0.0138	-7.50787	7.539023	0.0312
6	28	-7.4285	7.4384	0.0099	-14.057	14.09267	0.0357
Dari Bus	Ke Bus	Jam 3			Jam 4		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	2	29.8518	-29.6923	0.1595	25.69262	-25.5744	0.1183
1	3	17.34666	-17.2071	0.1396	15.95212	-15.834	0.1181
2	4	12.47678	-12.3943	0.0825	12.13364	-12.0556	0.0780
3	4	15.45509	-15.4326	0.0224	14.37001	-14.3506	0.0194
2	5	46.32082	-45.3325	0.9883	39.47605	-38.756	0.7200
2	6	17.28413	-17.1243	0.1598	16.38822	-16.2445	0.1438
4	6	24.59638	-24.5396	0.0568	22.04422	-21.9986	0.0456
5	7	-23.4335	23.66977	0.2363	-18.706	18.85625	0.1503
6	7	40.74581	-40.3138	0.4320	33.04906	-32.7643	0.2848
6	8	15.44309	-15.4207	0.0224	13.60916	-13.5918	0.0174
6	9	-2.02881	2.02881	0	-1.12738	1.12738	0
6	10	-1.15932	1.15932	0	-0.64422	0.64422	0
9	11	0	0	0	0	0	0
9	10	-2.02881	2.02881	0	-1.12738	1.12738	0
4	12	-2.31747	2.31747	0	-0.27403	0.27403	0
12	13	-19.6123	19.6123	0	-14.9095	14.9095	0
12	14	2.535766	-2.52942	0.0063	2.249298	-2.2443	0.0050
12	15	1.991542	-1.98939	0.0021	2.127328	-2.12488	0.0024
12	16	4.59152	-4.57579	0.0157	3.426851	-3.41808	0.0088
14	15	-1.99658	2.000556	0.0040	-1.5377	1.540054	0.0024
16	17	2.020795	-2.01802	0.0028	1.283084	-1.28197	0.0011
15	18	6.248837	-6.21466	0.0342	4.815331	-4.79501	0.0203
18	19	3.878663	-3.87124	0.0074	2.843012	-2.83902	0.0040

19	20	-3.06376	3.066145	0.0024	-2.95598	2.958197	0.0022
10	20	4.688802	-4.67215	0.0167	4.314303	-4.3002	0.0141
10	17	4.557432	-4.55198	0.0055	4.212696	-4.20803	0.0047
10	21	-9.35606	9.378295	0.0222	-7.7603	7.775593	0.0153
10	22	-7.31231	7.343176	0.0309	-6.07629	6.097588	0.0213
21	22	-22.1533	22.19263	0.0393	-18.4506	18.47787	0.0273
15	23	-12.246	12.36716	0.1212	-9.23251	9.301209	0.0687
22	24	-5.66128	5.688032	0.0267	-2.63241	2.638178	0.0058
23	24	3.777867	-3.76287	0.0150	2.896744	-2.88792	0.0088
24	25	-8.27617	8.375079	0.0989	-5.05726	5.094025	0.0368
25	26	2.566441	-2.555	0.0114	2.142983	-2.135	0.0080
25	27	-10.9415	11.04584	0.1043	-7.23701	7.2825	0.0455
28	27	-17.8626	17.8626	0	-11.372	11.37203	0
27	29	4.459738	-4.42566	0.0341	3.719696	-3.69596	0.0237
27	30	5.142684	-5.07763	0.0651	4.288646	-4.24331	0.0453
29	30	2.673665	-2.66037	0.0133	2.231963	-2.22269	0.0093
8	28	-6.47933	6.502518	0.0232	-4.70825	4.72048	0.0122
6	28	-11.3369	11.36008	0.0232	-6.64359	6.651547	0.0080
Dari Bus	Ke Bus	Jam 5			Jam 6		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	2	32.6414	-32.4507	0.1907	33.3409	-33.142	0.1989
1	3	18.28843	-18.1334	0.1551	18.52537	-18.3663	0.1591
2	4	12.71571	-12.63	0.0857	12.7767	-12.6902	0.0865
3	4	16.18935	-16.1647	0.0246	16.37426	-16.3491	0.0252
2	5	50.91513	-49.7236	1.1915	52.06762	-50.8222	1.2454
2	6	17.89806	-17.7267	0.1713	18.05362	-17.8793	0.1743
4	6	26.32867	-26.2636	0.0651	26.76558	-26.6983	0.0673
5	7	-26.5784	26.88283	0.3044	-27.3638	27.68661	0.3228
6	7	45.89832	-45.3508	0.5475	47.18913	-46.6106	0.5785
6	8	16.67159	-16.6455	0.0261	16.97944	-16.9524	0.0271
6	9	-2.63138	2.63138	0	-2.78224	2.78224	0
6	10	-1.50365	1.50365	0	-1.58985	1.58985	0
9	11	0	0	0	0	0	0
9	10	-2.63138	2.63138	0	-2.78224	2.78224	0
4	12	-3.68993	3.68993	0	-4.03432	4.03432	0
12	13	-22.7811	22.7811	0	-23.5775	23.5775	0
12	14	2.730191	-2.72284	0.0073	2.779225	-2.77161	0.0076
12	15	1.9128	-1.9108	0.0020	1.894561	-1.89261	0.0019
12	16	5.376172	-5.35463	0.0215	5.573356	-5.5502	0.0232
14	15	-2.29916	2.304438	0.0053	-2.37439	2.38002	0.0056
16	17	2.519627	-2.51532	0.0043	2.645204	-2.64046	0.0047

15	18	7.209418	-7.16397	0.0454	7.450175	-7.40165	0.0485
18	19	4.571968	-4.56165	0.0103	4.745648	-4.73453	0.0111
19	20	-3.13335	3.135839	0.0025	-3.15047	3.152983	0.0025
10	20	4.936297	-4.91784	0.0186	4.997904	-4.97898	0.0189
10	17	4.780684	-4.77468	0.0060	4.835684	-4.82954	0.0061
10	21	-10.4161	10.44367	0.0276	-10.6807	10.70966	0.0290
10	22	-8.13391	8.172115	0.0382	-8.33902	8.379181	0.0402
21	22	-24.6187	24.66726	0.0486	-25.2347	25.2857	0.0510
15	23	-14.2451	14.40927	0.1642	-14.7436	14.91956	0.1760
22	24	-7.65989	7.708948	0.0491	-8.15699	8.212646	0.0556
23	24	4.380214	-4.36006	0.0201	4.532643	-4.51106	0.0216
24	25	-10.3959	10.55244	0.1565	-10.9226	11.09553	0.1729
25	26	2.849093	-2.835	0.0141	2.9198	-2.905	0.0148
25	27	-13.4015	13.55838	0.1568	-14.0153	14.18696	0.1716
28	27	-22.1691	22.1691	0	-23.2432	23.24323	0
27	29	4.954637	-4.91262	0.0420	5.078555	-5.03442	0.0441
27	30	5.713962	-5.63376	0.0802	5.857022	-5.77278	0.0842
29	30	2.968617	-2.95224	0.0164	3.042416	-3.02522	0.0172
8	28	-7.65453	7.686916	0.0324	-7.94765	7.982569	0.0349
6	28	-14.4446	14.48221	0.0377	-15.2189	15.26066	0.0418
Dari Bus	Ke Bus	Jam 7			Jam 8		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	2	41.67743	-41.3671	0.3103	37.4166	-37.1663	0.2503
1	3	22.36048	-22.1291	0.2314	20.32457	-20.1332	0.1913
2	4	14.90353	-14.786	0.1176	13.70533	-13.6058	0.0995
3	4	19.72909	-19.6925	0.0366	17.90122	-17.8711	0.0301
2	5	63.0049	-61.1903	1.8146	58.26255	-56.7075	1.5551
2	6	21.75867	-21.506	0.2527	19.73658	-19.5284	0.2081
4	6	34.31051	-34.2001	0.1104	30.35326	-30.2668	0.0865
5	7	-33.0097	33.48062	0.4709	-30.8985	31.31071	0.4122
6	7	57.12628	-56.2806	0.8457	53.25024	-52.5147	0.7355
6	8	20.85919	-20.8183	0.0409	18.98289	-18.949	0.0339
6	9	-3.50888	3.508876	0	-3.30798	3.307982	0
6	10	-2.00507	2.005072	0	-1.89028	1.89028	0
9	11	0	0	0	0	0	0
9	10	-3.50888	3.50888	0	-3.30798	3.30798	0
4	12	-7.43203	7.43203	0	-5.94431	5.94431	0
12	13	-35.1709	35.1709	0	-29.6183	29.6183	0
12	14	3.941695	-3.92638	0.0153	3.352817	-3.34173	0.0111
12	15	4.371414	-4.36107	0.0103	2.962775	-2.95802	0.0048
12	16	8.225771	-8.17544	0.0503	6.942369	-6.90648	0.0359

14	15	-2.27362	2.278773	0.0052	-2.42427	2.430132	0.0059
16	17	4.675438	-4.66063	0.0148	3.651483	-3.64245	0.0090
15	18	9.680076	-9.59831	0.0818	8.699667	-8.63357	0.0661
18	19	6.398312	-6.37813	0.0202	5.65757	-5.64178	0.0158
19	20	-3.12187	3.124346	0.0025	-3.19322	3.195804	0.0026
10	20	5.345989	-5.32435	0.0216	5.262779	-5.2418	0.0210
10	17	4.344327	-4.33937	0.0050	4.73344	-4.72755	0.0059
10	21	-11.6743	11.70891	0.0346	-11.5161	11.54981	0.0337
10	22	-9.33	9.380309	0.0503	-9.07238	9.119939	0.0476
21	22	-29.2089	29.27732	0.0684	-27.8248	27.88689	0.0621
15	23	-15.7978	16	0.2022	-15.7978	16	0.2022
22	24	-9.32449	9.397286	0.0728	-9.40597	9.480046	0.0741
23	24	6.330761	-6.28874	0.0420	5.311583	-5.28197	0.0296
24	25	-11.8085	12.01095	0.2024	-12.2891	12.50844	0.2194
25	26	3.521505	-3.5	0.0215	3.273592	-3.255	0.0186
25	27	-15.5325	15.74354	0.2111	-15.782	16	0.2180
28	27	-26.0445	26.0445	0	-26.2886	26.28858	0
27	29	6.134986	-6.07069	0.0643	5.699305	-5.64377	0.0555
27	30	7.076937	-6.95432	0.1226	6.573772	-6.46784	0.1059
29	30	3.670689	-3.64568	0.0250	3.411775	-3.39016	0.0216
8	28	-9.18168	9.228324	0.0466	-8.95097	8.995291	0.0443
6	28	-16.7655	16.81622	0.0507	-17.2396	17.29329	0.0537

Daya saluran sistem IEEE 30 Bus pada studi kasus II (dalam MW)

Dari Bus	Ke Bus	Jam 1			Jam 2		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	2	25.07566	-24.963	0.1127	33.58059	-33.3788	0.2017
1	3	14.56842	-14.4698	0.0986	19.76617	-19.5851	0.1810
2	4	10.47306	-10.4149	0.0582	14.38188	-14.2724	0.1095
3	4	12.95784	-12.9421	0.0158	17.66514	-17.6358	0.0293
2	5	39.67715	-38.9498	0.7273	51.26679	-50.0589	1.2079
2	6	14.48035	-14.368	0.1123	19.85037	-19.6398	0.2105
4	6	20.54176	-20.5021	0.0396	27.99951	-27.9259	0.0736
5	7	-20.3962	20.57496	0.1788	-25.3011	25.57679	0.2757
6	7	35.26301	-34.939	0.3240	44.32766	-43.8168	0.5109
6	8	13.15512	-13.1388	0.0163	17.26557	-17.2376	0.0280
6	9	-1.96519	1.96519	0	-1.88107	1.88107	0
6	10	-1.12297	1.12297	0	-1.0749	1.0749	0
9	11	0	0	0	0	0	0
9	10	-1.96519	1.96519	0	-1.88107	1.88107	0
4	12	-1.97284	1.97284	0	-2.17132	2.17132	0

12	13	-16.533	16.533	0	-21.533	21.533	-0
12	14	2.156202	-2.15161	0.0046	2.843006	-2.83503	0.0080
12	15	1.607094	-1.60569	0.0014	2.406963	-2.40382	0.0031
12	16	3.740908	-3.73046	0.0104	5.151754	-5.13197	0.0198
14	15	-1.75439	1.757457	0.0031	-2.12497	2.129472	0.0045
16	17	1.525463	-1.52388	0.0016	2.331966	-2.32828	0.0037
15	18	5.247161	-5.22304	0.0241	6.893828	-6.85226	0.0416
18	19	3.207044	-3.20196	0.0051	4.292258	-4.28316	0.0091
19	20	-2.78304	2.785	0.0020	-3.31684	3.319627	0.0028
10	20	4.18427	-4.171	0.0133	5.099322	-5.07963	0.0197
10	17	4.150643	-4.14612	0.0045	4.877974	-4.87172	0.0062
10	21	-8.50671	8.525093	0.0184	-9.81996	9.844461	0.0245
10	22	-6.57035	6.595263	0.0249	-7.75331	7.788019	0.0347
21	22	-19.5501	19.58072	0.0306	-23.8445	23.89003	0.0456
15	23	-10.5649	10.65498	0.0901	-13.1795	13.31992	0.1404
22	24	-4.90121	4.921251	0.0200	-5.67737	5.704274	0.0269
23	24	2.769484	-2.76141	0.0081	4.560545	-4.5387	0.0218
24	25	-7.64084	7.725069	0.0842	-8.12557	8.220897	0.0953
25	26	2.213516	-2.205	0.0085	2.813746	-2.8	0.0137
25	27	-9.93858	10.02458	0.0860	-11.0346	11.14076	0.1061
28	27	-16.2591	16.25907	0	-17.8813	17.88131	0
27	29	3.842845	-3.81752	0.0253	4.892707	-4.85173	0.0410
27	30	4.430747	-4.38237	0.0484	5.642468	-5.56425	0.0782
29	30	2.305519	-2.29563	0.0099	2.931727	-2.91575	0.0160
8	28	-5.76115	5.779478	0.0183	-6.76244	6.78771	0.0253
6	28	-10.4599	10.47959	0.0197	-11.0715	11.0936	0.0221
Dari Bus	Ke Bus	Jam 3			Jam 4		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	2	29.8518	-29.6923	0.1595	22.71875	-22.6262	0.0925
1	3	17.34666	-17.2071	0.1396	12.63035	-12.5562	0.0742
2	4	12.47678	-12.3943	0.0825	8.701449	-8.66124	0.0402
3	4	15.45509	-15.4326	0.0224	11.09219	-11.0806	0.0117
2	5	46.32082	-45.3325	0.9883	37.57132	-36.9185	0.6528
2	6	17.28413	-17.1243	0.1598	12.20394	-12.124	0.0799
4	6	24.59638	-24.5396	0.0568	17.85724	-17.8273	0.0300
5	7	-23.4335	23.66977	0.2363	-20.5435	20.72487	0.1813
6	7	40.74581	-40.3138	0.4320	34.95124	-34.6329	0.3183
6	8	15.44309	-15.4207	0.0224	11.9891	-11.9756	0.0135
6	9	-2.02881	2.02881	0	-2.46562	2.465623	0
6	10	-1.15932	1.15932	0	-1.40893	1.40893	0
9	11	0	0	0	0	0	0

9	10	-2.02881	2.02881	0	-2.46562	2.46562	0
4	12	-2.31747	2.31747	0	-2.75138	2.75138	0
12	13	-19.6123	19.6123	0	-16.6616	16.6616	0
12	14	2.535766	-2.52942	0.0063	2.066363	-2.06215	0.0042
12	15	1.991542	-1.98939	0.0021	1.480909	-1.47972	0.0012
12	16	4.59152	-4.57579	0.0157	3.530957	-3.52165	0.0093
14	15	-1.99658	2.000556	0.0040	-1.71985	1.722802	0.0029
16	17	2.020795	-2.01802	0.0028	1.38665	-1.38534	0.0013
15	18	6.248837	-6.21466	0.0342	5.027399	-5.00525	0.0221
18	19	3.878663	-3.87124	0.0074	3.053255	-3.04865	0.0046
19	20	-3.06376	3.066145	0.0024	-2.74635	2.748262	0.0019
10	20	4.688802	-4.67215	0.0167	4.103023	-4.09026	0.0123
10	17	4.557432	-4.55198	0.0055	4.109091	-4.10466	0.0044
10	21	-9.35606	9.378295	0.0222	-8.87817	8.898194	0.0200
10	22	-7.31231	7.343176	0.0309	-6.74649	6.772757	0.0263
21	22	-22.1533	22.19263	0.0393	-19.5732	19.60389	0.0307
15	23	-12.246	12.36716	0.1212	-10.2725	10.3576	0.0851
22	24	-5.66128	5.688032	0.0267	-5.89958	5.92864	0.0291
23	24	3.777867	-3.76287	0.0150	1.601849	-1.59915	0.0027
24	25	-8.27617	8.375079	0.0989	-9.63649	9.77086	0.1344
25	26	2.566441	-2.555	0.0114	2.142983	-2.135	0.0080
25	27	-10.9415	11.04584	0.1043	-11.9138	12.03764	0.1238
28	27	-17.8626	17.8626	0	-19.492	19.49201	0
27	29	4.459738	-4.42566	0.0341	3.719696	-3.69596	0.0237
27	30	5.142684	-5.07763	0.0651	4.288646	-4.24331	0.0453
29	30	2.673665	-2.66037	0.0133	2.231963	-2.22269	0.0093
8	28	-6.47933	6.502518	0.0232	-6.32442	6.34651	0.0221
6	28	-11.3369	11.36008	0.0232	-13.1145	13.1455	0.0310
Dari Bus	Ke Bus	Jam 5			Jam 6		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	2	33.95935	-33.753	0.2063	32.78188	-32.5896	0.1923
1	3	19.70442	-19.5245	0.1799	17.73015	-17.5844	0.1458
2	4	14.15906	-14.0529	0.1062	11.90208	-11.827	0.0751
3	4	17.58051	-17.5515	0.0290	15.59235	-15.5695	0.0228
2	5	51.63375	-50.4087	1.2250	51.67182	-50.445	1.2268
2	6	19.4707	-19.2681	0.2026	17.18785	-17.0298	0.1581
4	6	27.24675	-27.1771	0.0697	26.59865	-26.5322	0.0664
5	7	-25.8933	26.18211	0.2888	-27.741	28.07278	0.3318
6	7	45.18071	-44.6501	0.5306	47.58499	-46.9968	0.5882
6	8	16.99215	-16.965	0.0271	16.82262	-16.796	0.0266
6	9	-1.63093	1.63093	0	-3.18226	3.18226	0

6	10	-0.93196	0.93196	0	-1.81843	1.81843	0
9	11	0	0	0	0	0	0
9	10	-1.63093	1.63093	0	-3.18226	3.18226	0
4	12	-1.79838	1.79838	0	-5.51016	5.51016	0
12	13	-21.6616	21.6616	0	-26.6616	26.6616	0
12	14	2.9644	-2.95573	0.0087	3.016234	-3.00726	0.0090
12	15	2.740015	-2.73595	0.0041	2.731636	-2.72759	0.0040
12	16	5.086819	-5.06753	0.0193	6.107576	-6.07978	0.0278
14	15	-2.06627	2.070527	0.0043	-2.13874	2.143303	0.0046
16	17	2.232526	-2.22914	0.0034	3.174784	-3.16795	0.0068
15	18	6.820516	-6.77982	0.0407	7.67561	-7.62411	0.0515
18	19	4.187823	-4.17917	0.0087	4.968112	-4.95593	0.0122
19	20	-3.51583	3.51897	0.0031	-2.92907	2.931243	0.0022
10	20	5.322422	-5.30097	0.0214	4.774513	-4.75724	0.0173
10	17	5.067601	-5.06086	0.0067	4.306923	-4.30205	0.0049
10	21	-9.85396	9.87863	0.0247	-10.6034	10.63199	0.0286
10	22	-7.79696	7.832064	0.0351	-8.29271	8.332434	0.0397
21	22	-24.0536	24.10001	0.0464	-25.157	25.20772	0.0507
15	23	-12.7971	12.92947	0.1324	-13.8973	14.05357	0.1562
22	24	-6.455	6.489808	0.0348	-8.32092	8.378843	0.0579
23	24	3.389982	-3.3779	0.0121	4.333237	-4.31351	0.0197
24	25	-10.1589	10.30835	0.1494	-11.2863	11.47109	0.1848
25	26	2.849093	-2.835	0.0141	2.9198	-2.905	0.0148
25	27	-13.1574	13.3086	0.1511	-14.3909	14.5719	0.1810
28	27	-20.5608	20.5608	0	-24.0305	24.03051	0
27	29	4.954637	-4.91262	0.0420	5.078555	-5.03442	0.0441
27	30	5.713962	-5.63376	0.0802	5.857022	-5.77278	0.0842
29	30	2.968617	-2.95224	0.0164	3.042416	-3.02522	0.0172
8	28	-7.33498	7.364716	0.0297	-8.10397	8.140288	0.0363
6	28	-13.1648	13.19607	0.0313	-15.8449	15.89022	0.0453
Dari Bus	Ke Bus	Jam 7			Jam 8		
		Terkirim	Diterima	Losses	Terkirim	Diterima	Losses
1	2	44.19832	-43.8495	0.3489	37.4166	-37.1663	0.2503
1	3	23.77882	-23.5173	0.2615	20.32457	-20.1332	0.1913
2	4	15.92328	-15.7891	0.1341	13.70533	-13.6058	0.0995
3	4	21.11732	-21.0754	0.0419	17.90122	-17.8711	0.0301
2	5	63.46478	-61.6239	1.8408	58.26255	-56.7075	1.5551
2	6	22.76141	-22.485	0.2764	19.73658	-19.5284	0.2081
4	6	34.47135	-34.3599	0.1115	30.35326	-30.2668	0.0865
5	7	-32.5761	33.03456	0.4585	-30.8985	31.31071	0.4122
6	7	56.66677	-55.8346	0.8322	53.25024	-52.5147	0.7355

6	8	20.97319	-20.9319	0.0413	18.98289	-18.949	0.0339
6	9	-2.8538	2.853797	0	-3.30798	3.307982	0
6	10	-1.63074	1.63074	0	-1.89028	1.89028	0
9	11	0	0	0	0	0	0
9	10	-2.8538	2.8538	0	-3.30798	3.30798	0
4	12	-5.20678	5.206784	0	-5.94431	5.94431	0
12	13	-31.6616	31.66161	0	-29.6183	29.6183	0
12	14	3.830433	-3.81597	0.0145	3.352817	-3.34173	0.0111
12	15	3.978597	-3.97003	0.0086	2.962775	-2.95802	0.0048
12	16	7.445795	-7.40453	0.0413	6.942369	-6.90648	0.0359
14	15	-2.38403	2.389698	0.0057	-2.42427	2.430132	0.0059
16	17	3.904532	-3.8942	0.0103	3.651483	-3.64245	0.0090
15	18	9.178108	-9.10457	0.0735	8.699667	-8.63357	0.0661
18	19	5.904571	-5.88738	0.0172	5.65757	-5.64178	0.0158
19	20	-3.61262	3.615934	0.0033	-3.19322	3.195804	0.0026
10	20	5.841767	-5.81593	0.0258	5.262779	-5.2418	0.0210
10	17	5.112667	-5.1058	0.0069	4.73344	-4.72755	0.0059
10	21	-11.821	11.85655	0.0355	-11.5161	11.54981	0.0337
10	22	-9.41795	9.469211	0.0513	-9.07238	9.119939	0.0476
21	22	-29.3565	29.42565	0.0691	-27.8248	27.88689	0.0621
15	23	-15.7978	16	0.2022	-15.7978	16	0.2022
22	24	-8.67563	8.738618	0.0630	-9.40597	9.480046	0.0741
23	24	5.558696	-5.52628	0.0324	5.311583	-5.28197	0.0296
24	25	-11.9123	12.11835	0.2060	-12.2891	12.50844	0.2194
25	26	3.521505	-3.5	0.0215	3.273592	-3.255	0.0186
25	27	-15.6399	15.85389	0.2140	-15.782	16	0.2180
28	27	-25.4722	25.47217	0	-26.2886	26.28858	0
27	29	6.134986	-6.07069	0.0643	5.699305	-5.64377	0.0555
27	30	7.076937	-6.95432	0.1226	6.573772	-6.46784	0.1059
29	30	3.670689	-3.64568	0.0250	3.411775	-3.39016	0.0216
8	28	-9.06812	9.113616	0.0455	-8.95097	8.995291	0.0443
6	28	-16.3105	16.35856	0.0480	-17.2396	17.29329	0.0537

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Kresna Bayu Ar-razi Arifin lahir di Surabaya pada 24 September 1996. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SDN Pacarkeling V 186 Surabaya pada tahun 2008, SMP Negeri 1 Surabaya pada tahun 2011 dan SMA Negeri 5 Surabaya pada tahun 2014. Kemudian melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada 2014 pada Departemen Teknik Elektro. Bidang studi yang diambil penulis adalah Teknik Sistem Tenaga. Dalam bidang kepanitiaan, penulis tergabung dalam Electrical Engineering Event pada tahun 2016-2017 sebagai sie Dana dan Sponshorship. Selain itu, penulis memiliki hobby membaca. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email : kresnabayuarr@gmail.com.